สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบการติดตั้งสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM สำหรับพื้นที่ใช้งานที่เป็นเกาะ

DESIGN OF BASE STATION INSTALLATION OF GSM SYSTEM IN ISLAND AREA

T060512

สนธยา มากทรัพย์

SONTAYA MARKSUP

วพ.
ส1917
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 60512
วัน,เดือน,ปี - 3 ก.ค. 2549

b 11ก.ค.2011
i

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1874-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF BASE STATION INSTALLATION OF GSM SYSTEM IN ISLAND AREA

SONTAYA MARKSUP

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2005

ISBN 974-15-1874-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบการติดตั้งสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSMสำหรับพื้นที่ใช้งานที่เป็นเกาะ
นักศึกษา	นายสนธยา มากทรัพย์
รหัสประจำตัว	46061235
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอโมเดลที่ใช้ในการออกแบบเพื่อติดตั้งสถานีฐานสำหรับพื้นที่ใช้งานบริเวณเกาะ โดยการศึกษาทดสอบระบบ GSM 900 บริเวณหมู่เกาะของจังหวัดตราด เพื่อหาผลกระทบของการแพร่กระจายคลื่นจากสภาพแวดล้อมที่มีลักษณะเป็นเกาะ โดยนำค่าการสูญเสียของสัญญาณในย่าน 900 MHz มาใช้ร่วมกับค่าต่างๆ เช่น กำลังส่งของสถานีฐาน ความไวในการรับของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น จากผลที่ได้จากการทดสอบนำมาวิเคราะห์และสร้างเป็นโมเดลเพื่อใช้ในการวางตำแหน่งสถานีฐานที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design of Base Station Installation of GSM System in Island Area
Student	Mr.Sontaya Marksup
Student ID.	46061235
Degree	Master of Engineer
Programme	Telecommunication Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Phichet Moungnoul

ABSTACT

This paper proposes a model for designing the base station installation for serving in island area. In this study, GSM system, which operated at 900 MHz, has been used as testing system. For the experiment, a GSM base station will be installed in islands of Trat province for different locations, then the propagation from the base station is measured to estimate the effect of the surrounded objects in the island environment. These results will be considered with system parameters (i.e. transmission power of the base station, sensitivity of the receiver, etc). After analyzing the result, a base station installation model suited for island area is presented.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถทำให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ก็เพราะได้รับความเมตตาและความอนุเคราะห์ในการให้คำปรึกษาที่ดีจากท่าน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิเชฐ ม่วงนวล มาโดยตลอด ซึ่งข้าพเจ้าต้องกราบขอบคุณท่านเป็นอย่างสูง

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาของข้าพเจ้าเป็นอย่างมากที่ให้โอกาสในด้านการศึกษาและคอยเป็นกำลังใจและสนับสนุนมาโดยตลอดการศึกษาทุกระดับชั้น

ขอขอบคุณ บมจ. แอดวานซ์อินโฟร์เซอร์วิส ที่สนับสนุนเครื่องมือวัดและพนักงานการเก็บข้อมูลการวัด ทำให้การทดลองต่างๆ เสร็จไปด้วยดี

ท้ายสุดความรู้และประโยชน์อันพึงได้จากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สนธยา มากทรัพย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง..... VII

สารบัญรูป.....VIII

รายการคำย่อและสัญลักษณ์..... XI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....2

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....3

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....3

1.4 ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....3

1.5 ขอบเขตการวิจัย.....3

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....4

บทที่ 2 ความรู้ทั่วไปของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์.....5

2.1 วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่.....6

2.2 ระบบ PCN 1800.....10

2.3 ระบบดิจิตอล CDMA.....12

2.4 ระบบดิจิตอล GSM.....14

2.4.1 ความเป็นมาของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ดิจิตอล GSM.....14

2.4.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบ GSM.....18

2.4.2.1 เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่.....19

2.4.2.2 ส่วนของสถานีฐาน.....20

2.4.2.3 ระบบเนตเวิร์กและสวิตชิ่ง.....22

2.4.2.4 ระบบปฏิบัติการ.....23

2.4.3 การรับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุในระบบ GSM.....24

2.4.4 โครงสร้างเฟรมในกระบบ GSM.....25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.4.5 ประเภทของเบิรสต์....27

2.4.6 ประเภทของสัญญาณ....29

2.4.6.1 ช่องสัญญาณทราฟฟิก....29

2.4.6.2 ช่องสัญญาณซิกแนลลิง....30

2.4.7 การเข้ารหัสช่องสัญญาณในระบบ GSM....33

2.4.7.1 การเข้ารหัสช่องสัญญาณของสัญญาณเสียง TCH/FS....33

2.4.7.2 การเข้ารหัสช่องสัญญาณของข้อมูลประเภทคาต้า....34

2.4.7.3 การเข้ารหัสช่องสัญญาณของสัญญาณซิกแนลลิง....37

2.4.8 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องโทรศัพท์....37

2.4.8.1 การเลือกเซลล์ที่จะติดต่อ....38

2.4.8.2 การซิงโครไนซ์....38

2.4.8.3 การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบแรนดอม....39

2.4.8.4 การระบุตำแหน่งพื้นที่....40

2.4.8.5 การแฮนโอเวอร์....41

2.4.9 หมายเลขประจำตัวต่างๆ ที่ใช้ในระบบ GSM....41

2.4.9.1 หมายเลข IMSI....41

2.4.9.2 หมายเลข MSISDN....42

2.4.9.3 หมายเลข TMSI....42

2.4.9.4 กระบวนการ Authentication และ Ciphering....42

2.4.10 การมอดูเลทสัญญาณ....44

บทที่ 3 ทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น....45

3.1 หลักการแพร่กระจายคลื่น....45

3.2 กลไกพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น....48

3.2.1 การสะท้อนของคลื่น....48

3..2.2 การหักเหของคลื่น....51

3.2.3 การกระเจิงของคลื่น....54

3.3 วิธีการหาค่าสูญเสียของสัญญาณ....54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.3.1 วิธีการของ Hata สำหรับเซลล์ขนาดเล็ก.....54
3.3.2 วิธีการของ COST – 231/Walfish/Ikegami..... 55

บทที่ 4 การออกแบบการติดตั้งสถานีฐานสำหรับพื้นที่ใช้งานที่เป็นเกาะของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM.....57
4.1 บทนำ.....57
4.2 การหาตำแหน่งเพื่อออกแบบการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ใช้งานที่เป็นเกาะ.....57
4.2.1 สมการการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ.....105

บทที่ 5 การทดสอบและผลที่ได้จากการทดสอบ.....112
5.1 บทนำ..... 112
5.2 ผลการทดสอบ.....112

บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....117
6.1 สรุปผลการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่เกาะของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM.....117
6.2 สรุปปัญหาที่เกิดขึ้น.....118
6.3 ข้อเสนอแนะ.....119

เอกสารอ้างอิง.....120

ประวัติผู้เขียน.....121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT – 450.....7

2.2 คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ AMPS.....8

2.3 คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ TACS.....9

2.4 คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT – 900.....10

2.5 การเปรียบเทียบระบบโทรศัพท์ CDMA กับระบบอื่น ๆ.....14

2.6 รายชื่อประเทศที่มีการนำระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ไปให้บริการ.....15

2.7 กำลังส่งของเครื่องโทรศัพท์แต่ละประเภทตามมาตรฐานของระบบ GSM.....19

2.8 กำลังส่งของเครื่องโทรศัพท์แต่ละประเภทตามมาตรฐาน DCS 1800.....20

2.9 ระดับกำลังส่งของสถานีฐานตามมาตรฐาน GSM 900 และ DCS 1800.....21

2.10 ประเภทของช่องสัญญาณ TCH.....30

4.1 ตารางความถี่ที่ใช้ทางด้านส่งและรับของระบบ GSM ย่าน 900 MHz.....58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.3 สายอากาศที่ใช้ในการส่งสัญญาณ.....61
4.4 สถานีฐานที่ใช้ในการทดสอบ.....61
4.5 เสาส่งสัญญาณที่ใช้ในการส่งสัญญาณระดับความสูง 80 เมตร.....62
4.6 เครื่อง Site Master ที่ใช้ในการวัดค่า Feeder loss ในสาย Feeder.....63
4.7เครื่อง Power Meter ที่ใช้ในการวัดระดับสัญญาณจาก Base Station.....63
4.8 เส้นทางที่ใช้ในการวัดระดับสัญญาณ.....64
4.9 เส้นทางที่ใช้ในการวัดระดับสัญญาณช่วงระหว่างเกาะกูด.....64
4.10 Base Station ส่งสัญญาณ.....65
4.11 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 3.5 กิโลเมตร.....66
4.12 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร.....67
4.13 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 4 .5 กิโลเมตร.....68
4.14 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 5 กิโลเมตร.....69
4.15 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 5.5 กิโลเมตร.....70
4.16 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 6 กิโลเมตร.....71
4.17 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 6.5 กิโลเมตร.....72
4.18 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 7 กิโลเมตร.....73
4.19 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 7.5 กิโลเมตร.....74
4.20 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 8 กิโลเมตร.....75
4.21 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 8.5 กิโลเมตร.....76
4.22 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 9 กิโลเมตร.....77
4.23 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 9.5กิโลเมตร.....78
4.24 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง10 กิโลเมตร.....79
4.25 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง10.5 กิโลเมตร.....80
4.26 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง11 กิโลเมตร.....81
4.27 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง11.5 กิโลเมตร.....82
4.28 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง12 กิโลเมตร.....83
4.29 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง12.5 กิโลเมตร.....84
4.30 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง13 กิโลเมตร.....85
4.31 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง13.5 กิโลเมตร.....86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.32 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง14 กิโลเมตร.....87
4.33 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง14.5 กิโลเมตร.....88
4.34 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง15 กิโลเมตร.....89
4.35 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง15.5 กิโลเมตร.....90
4.36 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นทะเล กับการคำนวณโดยโมเดล Okumura Hata (ในพื้นที่โล่ง) และ โมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free Space.....105
4.37 ผลที่ได้จากการวัดในพื้นที่ทะเลกับเส้นกราฟที่ลากที่ค่าเฉลี่ยของผลการวัด.....106
4.38 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง1 กิโลเมตร ที่ความถี่ 900 MHz.....108
4.39 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง1 กิโลเมตร ที่ความถี่ 1800 MHz.....109
4.40 ผลที่ได้จากการวัดที่ความถี่ 900 MHz และ 1800 MHz โดยมีค่าตัวส่งที่ Pt = 59 dBm ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร.....111
5.1 ระดับคุณภาพสัญญาณที่ของเส้นทางที่ใช้ในการทดสอบ.....112
5.2 แสดงค่าระดับสัญญาณที่รับได้ของเส้นทางที่ใช้ในการวัด.....113
5.3 แสดงค่า SQI ของเส้นทางที่ใช้ในการวัด.....113
5.4 แสดงค่า C/I ของเส้นทางที่ใช้ในการวัด.....114
5.5 ภาพ Contourแสดงค่าระดับสัญญาณที่รับได้.....115
5.8 แสดงภาพ Contour ของระดับสัญญาณที่ให้บริการได้.....115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

ทศท. :องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย

กสท :การสื่อสารแห่งประเทศไทย

NMT :Nordic Mobile Telephone

AMPS :Advance Mobile Phone System

AIS :Advance Info Service

TAC :Total Access Communication

GSM :Global System For Mobile Communication

PCN : Personal Communication Network

CDMA : Code Division Multiple Access

BS : Base Station

PSTN : Public Switch Telephone Network

FCC :Federal Communications Commission

FM :Frequency Modulation

FSK : Frequency Shift Keying

TDMA :Time Division Multiple Access

FDMA :Frequency Division Multiple Access

FFSK :Fast Frequency Shift Keying

DCS :Digital Communication System

SIM :Subscriber Identification Module

BPSK :Binary Phase Shift Keying

QPSK :Quardrature Phase Shift Keying

TDM :Time Division Multiplex

CEPT :The European Conference of Postal and Telecommunication Administrations

ISDN :Integrated Service Digital Network

MS :Mobile Station

BSS :Base Station

NSS :Network and Switching Subsystem

OSS :Operation Support Subsystem

ME :Mobile Equipment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

BTS	:Base Transceiver Station
BSC	:Base Station Controller
MSC	: Mobile Service Switching Center
SS7	:Signaling System no.7
HLR	:Home Location Register
AUC	:Authentication Center
VLR	:Visitor Location Register
OMC	:Operation and Maintenance Center
GMSK	:Gaussian Minimum Shift Keying
BSIC	:Base Station Identity Code
TCH	:Traffic Channel
SC	: Signaling Channel
BCH	: Broadcast Channel
CCCH	: Common Control Channel
DCCH	: Dedicated Control Channel
BCCH	:Broadcast Control Channel
FCCH	:Frequency Control Channel
SCH	:Synchronization Control Channel
PCH	:Paging Control Channel
RACH	:Random Access Channel
AGCH	:Access Grant Channel
SDCCH	:Stand-alone Dedicated Control Channel
SACCH	:Slow Associated Control Channel
FACCH	:Fast Associated Control Channel
FDM	:Frequency Division Multiplex
RPE-LTP	:Regular Pulse Excitation – Long Term Prediction
SB	:Synchronization Burst
RFN	:Reduce TDMA Frame Number
MAHO	:Mobile Assisted Handover

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

IMSI	:International Mobile Subscriber Identity
MMC	:Mobile Country Code
MNC	:Mobile Network Code
MSIN	:Mobile Subscriber Identification Number
MSISDN	:Mobile Subscriber ISDN Number
CC	:Country Code
NDC	:National Destination Code
SN	:Subscriber Number
TMSI	:Temporary Mobile Subscriber Identity
SRES	:Signed Response
C/I	:Cochannel-interference
STP	:Signal Transfer Points
SCP	:Signal Control Points
STD	:Standard Deviation
AC	:Corner Attenuation
TTM	:Test and Transmitter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันการสื่อสารโทรคมนาคมนับว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ การบริการสื่อสารโทรคมนาคมสามารถทดแทนหรือลดการเดินทางลงซึ่งจะบรรเทาปัญหาการจราจรและลดต้นทุนทางเศษฐกิจของสังคม ในส่วนของประเทศไทยมีโครงข่ายและบริการสื่อสารโทรคมนาคมที่ทันสมัย เพื่อสนับสนุนการเจริญเติบโตของภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมและการให้บริการสังคมอย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดจนได้มีการเชื่อมโยงติดต่อสื่อสารกันกับประเทศต่างๆทั่วโลกด้วย ไม่ว่าจะเป็นระบบโทรศัพท์พื้นฐานและโดยเฉพาะระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เข้ามามีบทบาทมากขึ้นควบคู่กับการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ

แต่เดิมการสื่อสารของมนุษย์จะเป็นการติดต่อในระยะทางใกล้ๆ เท่านั้น โดยจะใช้คำพูดและลักษณะท่าทาง ต่อมาเริ่มมีการคิดค้นสิ่งต่างๆเพื่อใช้ในการสังเกต เช่น การสื่อสารด้วยควันไฟ เป็นต้น จนกระทั่งได้มีการนำเอาเทคโนโลยีมาช่วยในการสื่อสารที่เรียกว่า โทรศัพท์ โดยในส่วนของประเทศไทยนั้น การให้บริการโทรศัพท์ภายในประเทศจะมีองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (ทศท.) เป็นผู้ให้บริการ และการสื่อสารห่างประเทศไทย (กสท.) เป็นผู้ให้บริการระหว่างประเทศ

ส่วนการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2527 เมื่อกระทรวงคมนาคมอนุมัติให้หน่วยงานในสังกัดคือ ทศท. และ กสท. ดำเนินการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์ในเชิงแข่งขัน โดยในเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2529 ทศท. ได้เริ่มบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ระบบ Nordic Mobile Telephone ในย่านความถี่ 470 MHz (NMT-470) ต่อมาในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2530 กสท. ได้เปิดให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ระบบ Advance Mobile Phone System ในย่านความถี่ 800 MHz (AMPS-800 Band A) แต่เนื่องจากมีปริมาณความต้องการสูงมากประกอบกับสภาวะขาดแคลนโทรศัพท์พื้นฐานที่ทาง ทศท. ต้องรีบดำเนินการจัดหาในการให้บริการ ดังนั้นในส่วนของโทรศัพท์พื้นฐานท่าง ทศท.ต้องรีบดำเนินการจัดหาในการให้บริการร่วมในรูปแบบสัมปทาน ซึ่งบริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) (AIS) ได้รับสิทธิให้ดำเนินการในระบบ NMT-900 โดยได้ดำเนินการในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2533 ส่วนทางด้าน กสท. นั้นบริษัท โทเทิ่ล แอ็คเซ็ส คอมมูนิเคชั่น จำกัด (มหาชน) (TAC) เป็นผู้ประมูลได้และดำเนินการในระบบ AMPS-800 Band B โดยเริ่มดำเนินการในเดือนกันยายน 2534 แต่เนื่องจากการบริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นระบบอนาล็อก ซึ่งมีคุณภาพและการพัฒนาระบบที่จำกัด ทำให้มีการนำเอาระบบดิจิตอลมาให้บริการ โดยที่บริษัท AIS ได้เปิดให้บริการระบบ Global System for Mobile Communication ในย่านความถี่ 900 MHz (GSM900) และบริษัท TAC เปิดให้บริการระบบ Personal Communication Network ในย่านความถี่ 1800 MHz (PCN1800) ส่วนโครงข่ายของ กสท.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ปรับปรุงการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยเปิดให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ Code Division Multiple Access ย่านความถี่ 800 MHz (CDMA 800) [1] และในปัจจุบันยังมีผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ในย่านความถี่ 1800 MHz (GSM 1800) คือ บริษัท ดีพีซี (DPC) ในเครือของบริษัท AIS และบริษัท ทีเอออเรนจ์ (TAO) ที่กำลังจะเปิดให้บริการภายในต้อนปี พ.ศ. 2545 อีกด้วย โดยในส่วนของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ย่านความถี่ 1900 MHz นั้นที่มีหน่วยงานของ ทศท. เป็นผู้ลงทุนและดำเนินการในรูปของบริษัท เอซีทีโมบายส์ หรือ ไทยโมบายส์ โดยอยู่ในระหว่างการจัดองค์กรและแผนการดำเนินงานอยู่ในขณะนี้ ซึ่งก็ต้องติดตามความคืบหน้าในโอกาสต่อไป

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ความต้องการในการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ส่วนบุคคลในเขตพื้นที่เมืองได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ผู้ให้บริการต่างก็ทุ่มเทกับการลงทุนขยายเครือข่ายโดยการเพิ่มจำนวนสถานีฐาน (BS : Base Station) ซึ่งการเพิ่มหรือลดสถานีฐานเพื่อให้บริการในแต่ละพื้นที่นั้นขึ้นกับประมาณของทราฟฟิกที่แตกต่างกัน เช่น ในเขตพื้นที่เมืองหรือชุมชนหนาแน่นจะมีปริมาณของทราฟฟิกที่สูงจึงมีการเพิ่มสถานีฐานในรูปแบบการวางสถานีฐานเพิ่มขึ้นหรือในพื้นที่ทะเลมีที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวมีปริมาณของนักท่องเที่ยวที่มากขึ้นก็ต้องมีการออกแบบวางสถานีฐานเพิ่มขึ้น ดังนั้น การออกแบบการวางสถานีฐานจึงมีความสำคัญมากในการที่จะสามารถใช้ประสิทธิภาพของแต่ละสถานีฐานให้มากที่สุด และนอกจากนั้นยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งปริมาณสถานีฐานได้เช่นกัน ซึ่งใช้การคาดคะเนการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น [2] ที่เกิดขึ้นจะช่วยให้การติดตั้งสถานีฐานอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมมีระดับสัญญาณที่ดีในการให้บริการรวมทั้งสามารถรองรับปริมาณของทราฟฟิกได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้บริการ ซึ่งการคาดคะเนคลื่นสัญญาณทั่วๆ ไปจะมีสองโมเดลหลักๆ คือ โมเดลทางสถิติ (Analytical Method) ด้วยการใช้ค่าเฉลี่ย (Mean) จากการวัดระดับกำลังงานของสัญญาณที่มีการเปรียบเทียบแบบหยาบๆ แต่ง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้ และอีกประเภท คือ โมเดลที่ได้จากการสังเกต (Empirical Method) จะระบุถึงสภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งเป็นการคำนวณที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงด้วยการระบุ Specification ของถนน หรือ อาคาร เป็นต้น จึงจำเป็นต้องใช้เวลานานมากในการนำไปใช้แต่รายละเอียดทางด้านกายภาพ (การสะท้อน, การเลี้ยวเบนหรือการหักเหแลการกระเจิงของคลื่น) เหล่านี้จะมีความเที่ยงตรงสูง [3] ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับบนี้จะใช้แนวทางของโมเดลทางสถิติเป็นหลักและอ้างอิงถึงโมเดลที่ได้จาการสังเกตเพื่อเป็นข้อมูลเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

ในปัจจุบันนี้ปริมาณการวางตำแหน่งของสถานีฐานไมโครเซลล์ของระบบเซลลูล่าร์ในเขตพื้นที่เมืองจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการวางตำแหน่งสถานีฐานซึ่งแต่เดิมนั้นมีข้อจำกัดมากขึ้นในเรื่องสถานที่และความรวดเร็วในการติดตั้งรวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นจากอินเตอร์เฟอร์เร้นท์ในการขยายช่องสัญญาณเพื่อรองรับปริมาณทราฟฟิกที่เพิ่มขึ้นจากสถานีฐานข้างเคียงรวมทั้งสภาพแวดล้อมที่เป็นเกาะทะเลสำหรับการให้บริการในบริเวณพื้นที่ทะเลเหล่านี้มีปริมาณทราฟฟิกที่สูงเมื่อสถานีฐาน ดังนั้นการออกแบบสถานีฐานที่เหมาะสมจึงถือได้ว่ามีความสัญมากในการใช้งานดังนั้นการหาโมเดลที่จะสามารถใช้งานได้จริงจึงเป็นประโยชน์อย่างมาก และง่ายต่อการใช้งานจริงด้วย

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

หลักการใหม่ที่นำเสนอ คือ การพิจารณาการลดทอนของสัญญาณในพื้นที่ทะเลเพื่อนำค่าการสูญเสียของสัญญาณที่ได้จากการทดสอบและวัดค่าในพื้นที่ที่จะให้บริการจริง เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้เป็นแฟคเตอร์ร่วมกับสมการ Free Space loss, Okumura Hata และ Cost 231 Hata สำหรับการคาดคะเนค่าสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นให้มีความถูกต้องและลดความยุ่งยากในการคำนวณที่ต้องใช้ตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาร่วมให้มีความรวดเร็วและเหมาะสมในการนำไปใช้จริง โดยได้ทำการศึกษาลักษณะของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีรูปแบบเป็นเกาะที่ล้อมรอบด้วยทะเลแล้วนำค่าการลดทอนในแต่ละช่วงที่กำหนดให้ของการแพร่กระจายคลื่นนำมาใช้ในการสร้างโมเดลการลดทอนในพื้นที่ทะเลโดยโมเดลที่ได้มีความเหมาะสมในการนำไปในการออกแบบติดตั้งสถานีฐานได้

1.4 ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้วิจัย

การออกแบบการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ที่เป็นเกาะของระบบ GSM จะมีหลายๆ โมเดลที่ได้ทำการศึกษาด้วยหลักการการลดทอนของสัญญาณคือ โมเดล Free Space loss, Okumura Hata [4]และ Cost 231 Hata [5] ซึ่งเป็นโมเดลที่ใช้ในพื้นที่เมือง, ชนบท และพื้นที่โล่ง

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ศึกษาและวิจัดเรื่องเกี่ยวกับค่าสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นของสถานีฐาน โดยในขอบเขตการวิจัยจะศึกษาถึงค่าการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในพื้นที่ทะเลที่เป็นเกาะเพราะมีรัศมีการแพร่กระจายคลื่นที่จำกัดขึ้นอยู่กับการติดตั้งสถานีฐานแล้วจึงนำค่าที่ได้มาใช้เป็นเปรียบเทียบร่วมกับโมเดล Free Space, Okumura Hata และ Cost 231 Hata สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปใช้เป็นข้อมูลในการเลือกตำแหน่งการวางสถานีฐานให้มีความเหมาะสมและรวดเร็วกับการใช้งานจริง

1.6 ขั้นตอนการศึกษา

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้จัดแบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงภาพรวมของการสื่อสารและระบบโทรศัพท์ต่างๆ ที่ประเทศไทยนำมาให้บริการ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตการวิจัยและขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิตอลในประเทศไทยที่ประกอบด้วย ระบบ PCN 1800 ระบบดิจิตอลแบบ CDMA ระบบดิจิตอล GSM ที่กล่าวถึงความเป็นมาของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ดิจิตอล GSM โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบ GSM ที่ประกอบด้วย เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่วนของสถานีฐาน ส่วนของระบบเนตเวิร์กและสวิตชิ่งและระบบปฏิบัติการ การรับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุในระบบ GSM โครงสร้างของเฟรมในระบบ GSM ประเภทของเบิรสต์ประเภทของสัญญาณที่ประกอบด้วยช่องสัญญาณทราฟฟิก ช่องสัญญาณซิกแนลลิง การเข้ารหัสช่องสัญญาณในระบบ GSM ที่ประกอบด้วย การเลือกเซลล์ที่จะติดต่อ การซิงโครไนซ์การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบแรนดอม การระบุตำแหน่งพื้นที่ การแฮนโอเวอร์ หมายเลขประจำตัวต่างๆ ที่ใช้ในระบบ GSM คือ หมายเลข IMSI หมายเลข MSISDN หมายเลข TMSI กระบวนการ Authentication และ Ciphering การมอดูเลตสัญญาณ เทคโนโลยีไมโครเซลล์

บทที่ 3 ทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น โดยจะกล่าวถึงหลักการแพร่กระจายคลื่นกลไกพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นที่ประกอบด้วย การสะท้อนของคลื่น การหักเหของคลื่น การกระเจิงของคลื่น การหาค่าการสูญเสียของสัญญาณ เช่น วิธีการของ Okumura Hata วิธีการของ Cost-231 Hata วิธีการของ Walfish

บทที่ 4 กล่าวถึงการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่เป็นเกาะของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดเพื่อนำมาออกแบบโมเดลการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่เป็นเกาะ

บทที่ 5 กล่าวถึงผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการวัดที่ได้จากโมเดลการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่เกาะ

บทที่ 6 เป็นบทสรุปและข้อเสนอแนะ โดยกล่าวถึง การนำโมเดลการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่เกาะมาออกแบบและข้อเสนอแนะของโมเดลการสูญเสียสัญญาณในพื้นที่เกาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความรู้ทั่วไปของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นบริการหนึ่งร่วมกับระบบชุมสายโทรศัพท์ที่จะสามารถให้บริการได้ในลักษณะเดียวกับการใช้โทรศัพท์ทางสายธรรมดา เพียงแต่ใช้ระบบสื่อสารทางคลื่นวิทยุแทนการใช้สายทองแดงที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับชุมสายโทรศัพท์ ทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารได้สะดวกยิ่งขึ้น แม้กระทั่งอยู่ในรถยนต์บนท้องถนนหรือบางสถานที่ที่ไม่สามารถใช้ระบบโทรศัพท์ธรรมดาได้ เช่น ในบริเวณห่างไกลที่ข่ายสายไปไม่ถึง บนเรือที่แล่นอยู่ในแม่น้ำหรือทะเล เป็นต้น ด้วยประสิทธิภาพและความโดดเด่นของโทรศัพท์เคลื่อนที่ จึงทำให้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางและมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนองผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่มีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่เกินขีดความสามารถของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะรองรับได้จะทำให้เกิดการบล็อคของโทรศัพท์ในการโทรไม่ออกเพิ่มมากขึ้นเกินอัตราที่ยอมรับได้ จึงต้องมีการขยายขีดความสามารถของระบบ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ด้วยการสร้างระบบเซลลูล่าร์ขึ้น ซึ่งข้อดีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์อย่างหนึ่ง ก็คือ ความสามารถที่จะปรับเปลี่ยนภายในระบบที่จะสามารถทำให้รองรับสภาพทราฟฟิกได้สูงขึ้น โดยการปรับขนาดของเซลล์และจัดตำแหน่งของเซลล์ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ดังนั้นการเรียนรู้การออกแบบและการเลือกตำแหน่งของเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จึงมีความสำคัญมากในการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จากเดิมให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น และสามารถรองรับสภาพทราฟฟิกได้สูงขึ้น ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการใช้งานจริงตามสภาพปัจจุบันและอนาคต

การใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยทั่วไป จะเป็นการติดต่อระหว่างเครื่องรับส่งวิทยุปลายทางกับวิทยุอีกเครื่องหนึ่ง หรือกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน (PSTN : Public Swich Telephone Network) ทั้งนี้จะมีสถานีทวนสัญญาณ (Repeater Station) ทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณเพื่อให้มีรัศมีการควบคุมที่กว้างไกลยิ่งขึ้น

ทางด้านเทคนิคได้มีการพัฒนาเป็นขั้นตอน เริ่มจากต้องติดต่อผ่านพนักงานสลับสายจนเป็นระบบอัตโนมัติ ต่อมาได้พัฒนาให้สามารถใช้งานได้ในหลายๆ ช่องความถี่พร้อมๆ กัน เพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้บริการ แต่ปรากฏว่ายังมีข้อจำกัดของความถี่วิทยุที่ไม่สามารถขยายโครงข่ายให้เพียงพอต่อความต้องการ อันเนื่องมาจากความตองการใช้งานที่มีปริมาณที่สูงขึ้นได้

ดังนั้นความคิดในการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์จึงเริ่มขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์หลัก ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ใช้ความถี่ในการติดต่อสื่อสารให้มีประสิทธิภาพเพียงพอกับความต้องการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

2. โทรศัพท์เคลื่อนที่ต้องสามารถติดต่อกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ และโทรศัพท์ทั่วไปได้ภายในพื้นที่ที่อยู่ในโครงข่าย

3. สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องตลอดพื้นที่ให้บริการ

4. สามารถใช้งานได้ทั้งแบบมือถือและติดตั้งรถยนต์หรือประจำที่

5. ราคาไม่สูงเกินไปเมื่อเปรียบเทียบกับระบบโทรศัพท์แบบใช้สาย

2.1 วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เริ่มมีขึ้นจากการที่นาย M.G.Marconi ได้ทำการทดลองติดต่อสื่อสารผ่านทางคลื่นวิทยุระหว่างสถานีภาคพื้นดินกับเครื่องรับที่อยู่บนเรือ โดยที่มีระยะห่างกันประมาณ 18 ไมล์ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการใช้การสื่อสารวิทยุเคลื่อนที่ หลังจากนั้นจึงมีการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นี้กับการบริการด้านอื่นๆ เช่น งานด้านตำรวจ งานทางทหาร เป็นต้น หลังจากนั้นได้มีการพัฒนา โดยนำมาเชื่อมโยงกับระบบโทรศัพท์ จึงเกิดระบบโทรศัพท์ใหม่ที่เรียกว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Telephone System)

การทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเดิมจะมีการติดตั้งเครื่องรับและส่งสัญญาณวิทยุกำลังส่งสูง และตั้งอยู่ในที่สูง เช่น บนเนินเขา เพื่อที่จะทำให้ขอบเขตของการให้บริการมีพื้นที่กว้าง สถานีฐานที่ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณวิทยุของโทรศัพท์เคลื่อนที่ แต่ละสถานีจะสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างยิ่งขึ้น แต่การใช้งานของระบบเดิม เมื่อเครื่องโทรศัพท์มีการเริ่มเรียกจากในพื้นที่ของโซนหนึ่ง และมีการเคลื่อนที่ไปยังโซนอื่น จะทำให้การเรียกนั้นขาดหายไปได้หรือเรียกกันว่าสายหลุด ซึ่งจะต้องทำการเรียกใหม่อีก จึงไม่สามารถรับประกันได้ว่าการเรียกจะสามารถกระทำได้สมบูรณ์จนสิ้นสุดการใช้โทรศัพท์ทุกครั้งไป จึงได้มีการพัฒนาระบบการเปลี่ยนเซลล์ (Hand – off) ขึ้นระหว่างเซลล์ ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงการติดต่อของโทรศัพท์เคลื่อนที่ขณะที่มีการเปลี่ยนจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งโดยอัตโนมัติ ทำให้การเรียกสามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่อง

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เริ่มมีการใช้ครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ. 2489 โดยมีการทดลองใช้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในย่านความถี่ 150 MHz ซึ่งมีช่องสัญญาณ 6 ช่องสัญญาณ ในส่วนของการเชื่อมโยงกับโครงข่ายโทรศัพท์ ยังต้องใช้พนักงานสลับสายเชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์ โดยมีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 60 kHz ต่อมาความต้องการใช้งานเพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการลดช่องว่างระหว่างช่องสัญญาณเหลือเพียง 30 kHz ทำให้มีช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นเป็น 11 ช่องสัญญาณ และทาง FCC (Federal Communications Commission) ได้อนุญาตให้ใช้ความถี่ย่าน 450 MHz อีก 12 ช่องสัญญาณ แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้บริการของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์เคลื่อนที่ ต่อมาในปี พ.ศ. 2518 ทาง FCC ได้อนุญาตให้ใช้ความถี่ในช่วง 800 – 900 MHz อย่างอิสระ โดยให้เอกชนสามารถสร้างระบบสื่อสารในย่านความถี่นี้ได้ ทางบริษัท AT&T จึงได้นำความถี่ในช่วงดังกล่าวมาใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ใหม่ที่มีการใช้เทคนิคในการนำความถี่ที่ถูกใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (Frequency Reused) ในเขตพื้นที่ต่างกัน ซึ่งก็คือ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบการเซลลูล่าร์ (Cellular Mobile Telephone) ที่เป็นการใช้สเปคตรัมความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการทดลองใช้ที่เมืองชิคาโก ในปี พ.ศ. 2526 และต่อมาก็ได้มีการแพร่กระจายไปทั่วประเทศ นอกจากนี้ก็ยังมีการนำแนวความคิดของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์ไปพัฒนาประยุกต์ใช้ทั่วโลก โดยเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและมาตรฐานให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมตลอดจนย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีใช้อยู่ทั่วโลกมีความแตกต่างกันอยู่หลายระบบ ซึ่งเกิดขึ้นจากการพัฒนาของแต่ละประเทศที่มีการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับเรื่องระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานที่มีจำนวนเพิ่มสูงขึ้น และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพของสัญญาณเสียงดีขึ้น เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละพื้นที่ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้รับความนิยมในการใช้งานทั่วโลกมีดังนี้

1. ระบบ NMT-450 (Nordic Mobile Tlephone-450 MHz) ซึ่งเป็นระบบที่ออกแบบ โดยองค์การโทรคมนาคมของกลุ่มประเทศนอร์ดิกในแถบยุโรป ซึ่งได้แก่ ประเทศเดนมาร์ก ฟินแลนด์ นอร์เวย์และสวีเดน เมื่อปี พ.ศ. 2523 ระบบนี้จะมีการทำงานในย่านความถี่ 450 MHz ในระบบนี้จะมีความจุของช่วงสัญญาณต่ำ แต่สามารถที่จะส่งสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ได้ไกล ซึ่งเหมาะที่จะใช้ในบริเวณที่มีการใช้งานทางโทรศัพท์ไม่สูงมากนัก คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT-450 จะแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT-450

รายละเอียด	ระบบ NMT-450
ย่านความถี่ใช้ส่ง : จากสถานที่ฐาน จากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่	463 – 467.5 MHz 453 – 457.5 MHz
ความกว้างของช่องสัญญาณ	25 MHz
จำนวนช่องสัญญาณ	180
รูปแบบการวางเซลล์	แบบ 7 เซลล์
การคอมแพนเดอร์ (Compander)	ไม่มี
การมอดูเลทสัญญาณเสียง	FM (Frequency Modulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

รายละเอียด	ระบบ NMT-450
การมอดูเลทสัญญาณควบคุม	FFSK (Fast Frequency Shift Keying)
อัตราการส่งข้อมูล	1.2 Kbps.
ความจุของช่องสัญญาณควบคุม	13,000
การทำไดเวอร์ซิตี้	ไม่ได้
รัศมีของเซลล์	1.8 – 40 Km.

2. ระบบ AMPS (Advance Mobile Phone System) ได้ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาเมื่อปี พ.ศ. 2523 ระบบนี้จะมีการทำงานในย่านความถี่ 800 MHz การให้บริการสามารถจะครอบคลุมพื้นที่ได้กว้าง โดยการใช้เทคนิคของการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ ทำให้สามารถที่จะขยายพื้นที่การให้บริการได้มากขึ้น และทำให้มีจำนวนช่องสัญญาณต่อพื้นที่สูงขึ้นด้วย ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้ในเมืองที่มีความหนาแน่นของการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่สูงได้ดี คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ AMPS จะแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ AMPS

รายละเอียด	ระบบ NMT-450
ย่านความถี่ใช้ส่ง : จากสถานที่ฐาน จากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่	870 – 890 MHz 825 – 845 MHz
ความกว้างของช่องสัญญาณ	30 MHz
จำนวนช่องสัญญาณ	832
รูปแบบการวางเซลล์	แบบ 4 , 7 และ 12 เซลล์
การคอมแพนเดอร์ (Compander)	2.:1 (Syllabic)
การมอดูเลทสัญญาณเสียง	FM (Frequency Modulation)
การมอดูเลทสัญญาณควบคุม	FFSK (Fast Frequency Shift Keying)
อัตราการส่งข้อมูล	10 Kbps.
ความจุของช่องสัญญาณควบคุม	77,000
การทำไดเวอร์ซิตี้	ได้
รัศมีของเซลล์	2 – 20 Km.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบ TACS (Total Access Communication) เป็นระบบที่ทางประเทศอังกฤษได้ทำการพัฒนาขึ้นจากระบบ AMPS ซึ่งในระบบนี้จะสามารถรองรับการใช้งานทางโทรศัพท์ได้เพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม โดยจะมีการใช้ย่านความถี่ที่สูงขึ้น คือ ย่านความถี่ที่ 900 MHz ซึ่งจะให้คุณภาพของสัญญาณที่ดีขึ้น คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ TACS จะแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ TACS

รายละเอียด	ระบบ NMT-450
ย่านความถี่ใช้ส่ง : จากสถานที่ฐาน จากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่	935 – 960 MHz 890 – 915 MHz
ความกว้างของช่องสัญญาณ	25 MHz
จำนวนช่องสัญญาณ	1320
รูปแบบการวางเซลล์	แบบ 4 , 7 และ 12 เซลล์
การคอมแพนเดอร์ (Compander)	2.:1 (Syllabic)
การมอดูเลทสัญญาณเสียง	FM (Frequency Modulation)
การมอดูเลทสัญญาณควบคุม	FFSK (Fast Frequency Shift Keying)
อัตราการส่งข้อมูล	8 Kbps.
ความจุของช่องสัญญาณควบคุม	62,000
การทำไดเวอร์ซิตี้	ได้
รัศมีของเซลล์	2 – 20 Km.

4. ระบบ NMT-900 เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นจากระบบ NMT-450 โดยกลุ่มประเทศในองค์กรโทรคมนาคมของกลุ่มประเทศนอร์ดิกในแถบยุโรป โดยจะมีการใช้ย่านความถี่ที่สูงขึ้น เป็นย่านความถี่ 900 MHz ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบ NMT-450 ที่ให้บริการได้ไม่เพียงพอกับความต้องการที่มีเพิ่มสูงขึ้น และนำเอาเทคนิคการคอมแพนเดอร์ของสัญญาณมาใช้ ทำให้สัญญาณรบกวนบนสัญญาณเสียงมีค่าน้อยลง คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT-900 จะแสดงในตารางที่ 2.4

หลังจากนั้น ระบบดิจิตอลได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้งานอย่างกว้างขวางในระบบโทรคมนาคม เนื่องจากสัญญาณดิจิตอลจะมีการสูญเสียของสัญญาณที่ต่ำ และให้คุณภาพของสัญญาณที่ดีกว่าสัญญาณอนาล็อก จึงได้มีการพัฒนาระบบดิจิตอล เพื่อนำมาใช้งานในระบบโทรศัพท์ รวมทั้งระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วย ทำให้คุณภาพของสัญญาณเสียงโทรศัพท์มีคุณภาพเสียงที่ดีขึ้น และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถนำวิธีการแบ่งช่องเวลา (TDMA : Time Division Multiple Access) หรือวิธีการแบ่งความถี่ (FDMA : Frequency Division Multiple Access) มาใช้ ทำให้สามารถที่จะรองรับช่องสัญญาณของโทรศัพท์ได้เพิ่มขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นการใช้ความถี่ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณได้อีก แต่ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิตอลที่ใช้เทคนิคของ FDMA จำเป็นที่จะต้องมีวงจรกรองความถี่ที่มีคุณภาพ เนื่องจากช่องสัญญาณจะมีแบนด์วิดธ์ที่แคบลง แต่ถ้าใช้ระบบ TDMA จะใช้การแบ่งเวลาในการส่งสัญญาณในช่องเดียวกัน ดังนั้นในภาครับสัญญาณหรือภาคส่งสัญญาณจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก แต่จะต้องเพิ่มกระบวนการในการทำให้สัญญาณกลับคืนเหมือนเดิม ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีของสารกึ่งตัวนำได้มีความก้าวหน้ามาก จึงทำให้เทคนิคของ TDMA สามารถกระทำได้อย่างไม่ยุ่งยากนัก ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้นำเทคนิคของ TDMA มาใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิตอลเป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT-900

รายละเอียด	ระบบ NMT-450
ย่านความถี่ใช้ส่ง : จากสถานที่ฐาน จากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่	935 – 959.975 MHz 890 – 914.975 MHz
ความกว้างของช่องสัญญาณ	25 MHz
จำนวนช่องสัญญาณ	1,000
รูปแบบการวางเซลล์	แบบ 7 , 9 และ 12 เซลล์
การคอมแพนเดอร์ (Compander)	2.:1 (Syllabic)
การมอดูเลทสัญญาณเสียง	FM (Frequency Modulation)
การมอดูเลทสัญญาณควบคุม	FFSK (Fast Frequency Shift Keying)
อัตราการส่งข้อมูล	1.2 Kbps.
ความจุของช่องสัญญาณควบคุม	13,000
การทำไดเวอร์ซิตี้	ได้
รัศมีของเซลล์	2 – 25 Km.

2.2 ระบบ PCN 1800

ระบบ PCN 18000 MHz ในบ้านเรารู้จักในนามเวิลด์โฟน 1800 หรือใช้แบรนด์เนมใหม่ว่า DTAC โดย PCN นั้นย่อมาจากคำเต็มว่า Personal Communication Network โดยทางทฤษฎีแล้ว ในระบบนี้จะเป็นการใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า ไมโครเซลล์ (Microcell) ซึ่งการสร้างไมโคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

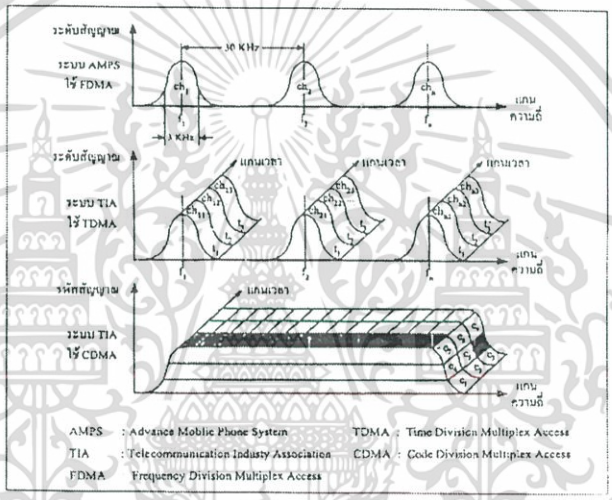
เซลล์นันจุดประสงค์ใหญ่ก็เพื่อที่จะให้ปริมาณหรือจำนวนผู้ใช้ใน 1 เซลล์นั้นมีจำนวนน้อยกว่าผู้ใช้ในระบบ GSM เมื่อเทียบกันเซลล์ต่อเซลล์ ซึ่งจะมีผลดีก็คือ การควบคุมดูแลเครื่องโทรศัพท์มือถือที่อยู่ในเซลล์นั้นสามารถทำได้ทั่วถึง จะทำให้ปัญหาสายหลุด เนื่องจากช่องสัญญาณควบคุมไปพอนั้นน้อยลง การออกแบบระบบ PCN 1800 นี้จะใช้คลื่นย่าน 1,805 MHz ถึง 1,880 MHz สำหรับการส่ง และ 1,710 MHz ถึง 1,785 MHz สำหรับการรับ ซึ่งความถี่ในย่านนี้จะเป็นความถี่ในย่านไมโครเวฟ มีข้อดีอยู่ 2 ประการ คือ ประการที่ 1 ความถี่สูงๆ ขนาดนี้ จะทำให้อุปกรณ์ภายในเครื่องรับและเครื่องส่งนั้นมีขนาดเล็กมากกว่าในระบบ GSM หรือในระบบอนาล็อกอื่นๆ จึงทำให้ผู้ผลิตสามารถสร้างเครื่องที่มีขนาดเล็กมากๆ ได้ ประการที่ 2 ความกว้างของความถี่การใช้งานจะสามารถขยายได้กว้างกว่าระบบอื่น เนื่องจากธรรมชาติของการใช้ความถี่จะสามารถใช้แถบความถี่ได้กว้างถึง 5% ของความถี่หลัก ดังนั้นในมาตรฐานของระบบ PCN 1800 จึงสามารถใช้ความถี่ที่มีแบนด์วิดธ์ได้กว้างถึงด้านละ 75 MHz ส่วนข้อเสียของระบบ PCN 1800 MHz ก็คือ การใช้ความถี่ย่านไมโครเวฟนี้ จะทำให้มีการลดทอนของสัญญาณสูง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะสามารถติดต่อได้ดีในระดับสายตามองถึงกันเท่านั้น (Line of Sight) ดังนั้นเหตุนี้เองจึงทำให้ระบบ PCN 1800 นั้นจะต้องวางสถานีฐานในรูปแบบของไมโครเซลล์ นั่นก็คือ ในระบบนี้จะต้องใช้สถานีฐานเป็นจำนวนมากกว่าระบบ GSM 3 ถึง 8 เท่า แต่อย่างไรก็ตาม การวางสถานีฐานจำนวนมากนี้ จะช่วยให้ช่องสัญญาณมีมากเหลือพอที่จะใช้งานในแต่ละเซลล์ได้เป็นอย่างดี ด้วยสาเหตุนี้ในระบบ PCN 1800 จึงไม่ค่อยมีปัญหาในเรื่องช่องสัญญาณเต็ม เหมาะสำหรับที่จะใช้ในตัวเมืองที่มีประชากรหนาแน่น และสามารถให้บริการกได้จนถึง 0.025 เออแลงค์ต่อเครื่อง (Erl/sub) ส่วนการจัดรูปแบบช่องสัญญาณนั้นจะใช้มาตรฐาน TDMA และในระบบ PCN นี้ ยังสามารถส่งข้อมูลผ่านระบบโครงข่ายได้ด้วยความเร็วถึง 15 Mb/s เมื่อใช้แถบความถี่ด้านละ 10 MHz โดยอาศัยเฟรมการส่งสัญยาณจะถูกจัดเป็นบล็อกๆ จำนวน 4 บล็อก ซึ่งแต่ละบล็อกจะถูกส่งซ้ำอีก 1 ครั้ง ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าสัญญาณนั้นจะไม่ตกหล่นหายไปเนื่องจากการส่งวิทยุนั้นไม่สามารถเอาความแน่นอนได้ 100% บางครั้งบางคราวอาจจะถูกตึกหรืออาคารบดบัง ทำให้สัญญาณขาดช่วงได้ เมื่อส่งซ้ำอีกครั้ง ก็จะเพิ่มความมั่นใจขึ้นอีกเท่าตัว ในแต่ละบล็อกจะประกอบไปด้วย H (Header) ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงการเริ่มต้นสัญญาณข้อมูล (Data) ซึ่งเป็นสัญญาณ PCM ของเสียงนั่นเอง

จะเห็นได้ว่าจากข้อมูลของระบบ GSM และระบบ PCN สิ่งหนึ่งที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด คือ ความถี่ที่ใช้จะต่างกันถึง 2 เท่าตัว คือ ความถี่ 900 MHz กับความถี่ 1800 MHz ซึ่งตามทฤษฎีแล้วการสูญเสียของสัญญาณจะเป็นไปตามระยะทางกำลังสอง ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วรัศมีของการแพร่กระจายคลื่นในระบบ PCN จะสั้นกว่าระบบ GSM ประมาณ 4 เท่าตัวเมื่อใช้กำลังส่งเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ระบบดิจิตอล CDMA

เทคโนโลยีของระบบ CDMA (Code Division Multiple Access) นั้น เกิดขึ้นมาหลัง FDMA และ TDMA สาเหตุเพราะว่าเรามีความต้องการช่องสัญญาณมากขึ้นเรื่อยๆ ตามการใช้งานที่เพิ่มขึ้นของโทรศัพท์มือถือ เทคนิคการแบ่งความถี่กันใช้จึงไม่เพียงพอต่อความต้องการ ระบบ TDMA จึงเกิดขึ้น โดยแบ่งความถี่ให้เป็นช่องเวลาอีก ดังนั้น 1 ความถี่จึงใช้ได้หลายคน (ตามการแบ่งช่องเวลา) โดยทั่วๆ ไป ระบบ TDMA จะมีความจุมากกว่า FDMA ประมาณ 3 ถึง 8 เท่า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อระบบ TDMA ยังมีจำนวนช่องสัญญาณไม่พอใช้ก็จะเปลี่ยนเป็นระบบ CDMA ซึ่งในระบบ CDMA ก็จะเข้ารหัสในแต่ละช่องเวลาอีกประมาณ 8 รหัส คือ ในระบบ CDMA นั้นจะมีความจุของช่องสัญญาณมากกว่า TDMA อยู่ประมาณ 8 เท่าหรือ 64 เท่าของ FDMA นั่นเอง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 เทคนิคการแบ่งช่องสัญญาณของระบบ FDMA , TDMA และ CDMA

การใช้งานระบบ FDMA นั้น มีการแบ่งช่องความถี่ออกเป็นช่องความถี่ย่อยๆ หลายช่อง แต่ละช่องก็จะสื่อสารกันได้แต่ละคู่สนทนา ในขณะที่ระบบ TDMA นั้น แต่ละช่องยังแบ่งเวลาออกเป็นแต่ละคู่สนทนาอีกเช่นกัน ทำให้เพิ่มจำนวนคู่สนทนาได้ตามจำนวนช่องเวลา ส่วนระบบ CDMA นั้น จะใช้ช่องความถี่ใหญ่รวมทุกคู่สนทนาไว้ภายใน โดยวิธีการจัดการด้วยระบบรหัสประจำตัว จึงทำให้สามารถใช้ความถี่ได้ทุกๆ ความถี่ที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ส่วนวิธีการจัดการกับกำลังส่งที่ใช้ส่งคลื่นออกไปของระบบ CDMA ก็มีวิธีการที่แตกต่างจากระบบ FDMA และ TDMA ตรงที่ เทคนิคของระบบ CDMA นั้น จะใช้กำลังส่งที่มีค่าต่ำมากๆ โดยกำหนดกำลังส่งนั้นให้มีความแรงของสัญญาณสูงกว่าระดับสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกซ้อน เพียงแค่ 3 dB เท่านั้น ในขณะที่ระบบ FDMA และ TDMA ถ้ากำลังส่งมีกำลังแรงสูงๆ ก็จะมีผลดีมากขึ้น ดังนั้นในสองระบบนี้ จึงมักต้องการกำลังส่งสูงกว่าระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกซ้อนไม่น้อยกว่า 18 dB สัญญาณที่เป็นดิจิตอลจะถูกนำมาผสมกับสัญญาณรบกวนแบบ Pseudo แล้วส่งไปในรูปของคลื่นผ่านบรรยากาศ และสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณแทรกซ้อนแบบต่างๆ เข้ามาร่วมด้วย เครื่องรับก็จะทำการรับสัญญาณเข้ามา และถอดสัญญาณรบกวนแบบ Pseudo ทิ้ง ก็จะได้สัญญาณที่เป็นดิจิตอล (BPSK : Binary Phase Shift Keying) กลับออกมา และนำไปถอดเป็นสัญญาณเสียงต่อไป เมื่อนำเอาระบบ CDMA มาใช้งานในรูปแบบของมือถือแบบเซลลูล่าร์ จะมีประโยชน์หลายประการดังนี้ คือ ประการแรก ในการสนทนาของมนุษย์นั้น จะมีช่วงของเสียงพูดอยู่ประมาณ 35% เท่านั้น ในขณะที่มีช่วงเงียบ (Pause) อยู่ประมาณ 65% นี้ในการสื่อสาร ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ในระบบ CDMA นั้นจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ในระบบ FDMA และ TDMA นั้นจะต้องทำงานตลอดเวลา แม้ว่าจะไม่มีสัญญาณเสียงก็ตาม ประการที่สอง เนื่องจากระบบ CDMA นั้นจะใช้รหัสดิจิตอลเป็นส่วนสำคัญในการติดต่อ อัตราส่วนความแรงของแคเรียร์ต่อการอินเตอร์เฟอร์เร้นท์ (C/I : Carrier to Interference) สามารถลดน้อยลง จนกระทั่งถึง 7 dB (ประมาณ 3 ถึง 4 เท่า) ในขณะที่ระบบ FDMA และ TDMA ต้องการถึง 15 dB (ประมาณ 32 เท่ากัน) ดังนั้นจึงเห็นว่าการสื่อสารในระยะทางและเงื่อนไขที่เท่ากัน ระบบ CDMA จะใช้กำลังส่งน้อยกว่าระบบ FDMA และ TDMA ถึง 4 เท่าตัว ประการที่สาม ในระบบ CDMA ไม่ต้องใช้การเว้นช่วงเวลา (Guard Time) สำหรับการแบ่งแยกช่องสัญญาณเหมือนในระบบ TDMA ซึ่งก็เผื่อช่วงเวลาเอาไว้ในกรณีของความล่าช้าของสัญยาณที่มีค่าไม่เท่ากัน เนื่องมาจากการสะท้อนจากตัวอาคารบ้านเรือนต่างๆ ดังนั้นในระบบ CDMA จึงมีความแน่นอนในการใช้งานสูงสุดเท่าที่มีในปัจจุบันนี้ ในระบบ CDMA นั้น ต้องการกว้างของแถบความถี่ต่อหนึ่งแถบมีค่าเท่ากับ 1.25 MHz เพื่อให้ได้ความจุของช่องสัญญาณทั้งหมดประมาณ 42 ช่องสัญญาณ หรือประมาณ 6 ช่องสัญญาณต่อหนึ่งเซลล์ เมื่อใช้โครงสร้างเซลล์ชนิด 7 เซลล์ต่อกลุ่มจำนวนช่องสัญญาณ 6 ช่องนี้ดูเหมือนว่ามีค่าน้อย แต่ที่ได้อธิบายไปแล้ว ถึงการแทรกช่องสัญญาณในขณะที่ไม่มีสัญญาณเสียงอีก 65% และการเข้ารหัสได้อีกประมาณ 13 รหัสต่อช่องสัญญาณ จึงทำให้จำนวนคู่สนทนาสามารถขยายได้ถึง 120 คู่สนทนาต่อช่องสัญญาณ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบระบบโทรศัพท์ CDMA กับระบบอื่นๆ จะแสดงในตารางที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบระบบโทรศัพท์ CDMA กับระบบอื่นๆ

ระบบ ความถี่ (MHz)	GSM	PDC	TIA (TDMA)	TIA (CDMA)
สถานีฐาน	869–960	810–826 (1429-1453)	869 – 894	869–894
- ตัวลูก	890-915	940–956 (1477–1501)	824 - 849	824-849
- เทคนิคการแบ่งช่องสัญญาณ	TDMA	TDMA	TDMA	TDMA
- จำนวนช่องสัญญาณต่อ 1 ความถี่	8	3	3	61
- อัตราเร็วข้อมูล	270.8Kb/s	42 kb/s	48.6 kb/s	614.4 kb/s
วิธีการมอดูเลทสัญญาณ	GMSK	π/4 QPSK	π/4 QPSK	QPSK/ OQPSK
ความเร็วข้อมูลต่อช่องสัญญาณ	22.8 Kb/s	11.2 Kb/s	13 Kb/s	9.6 Kb/s
ความกว้างของแถบความถี่	200 KHz	25/50 KHz	30 KHz	1,250 KHz
กำลังส่งของตัวลูกข่าย	3.7–20 W	0.3 – 3 W	2.2mW-6W	0.2-6.3 W
รัศมีเซลล์	1-20 km	2 – 20 km	0.5-20 km	1.20 km
จำนวนช่องสัญญาณต่อเซลล์	333	288	357	750

2.4 ระบบดิจิตอล GSM

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ดิจิตอลจีเอสเอ็มเป็นระบบโทรศัพท์ชนิดหนึ่งที่ประเทศไทย [7] ได้มีการนำเอามาใช้งานควบคู่กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบอนาล็อกเดิม โดยระบบดิจิตอลนั้นจะมีความทันสมัยของเทคโนโลยีในการให้บริการ และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องสำหรับการรองรับเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตควบคู่กับการเติบโต และการพัฒนาประเทศที่จำเป็นต้องมีระบบการสื่อสารที่ทันสมัย

2.4.1 ความเป็นมาของระบบดิจิตอล GSM

คำว่า GSM เดิมเป็นชื่อย่อมาจากคำว่า Group Special Mobile ซึ่งเกิดจากกลุ่มวิจัยที่เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันของประเทศในยุโรปหลายประเทศ เพื่อศึกษาและพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Telephone System) ในราวปี ค.ศ. 1982 ภายใต้การดูแลและสนับสนุนจาก CEPT (The European Conference of Postal and Telecommunication Administrations) โดยมีจุดมุ่งหมายหลัก เพื่อพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบใหม่ที่สามารถรองรับความต้องการใช้งานของผู้ใช้บริการได้มากขึ้น และที่สำคัญ คือ ต้องสามารถอนุญาตให้ผู้ใช้โทรศัพท์มีอิสระในการติดต่อสื่อสารจาก ณ ที่สถานที่ใดๆ ก็ได้ ภายในพื้นที่ของกลุ่มประเทศในยุโรปหรือการโรมมิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Roaming) ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM นั้นจัดว่าเป็นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่ 2 (Second Generation Mobile Systems) ซึ่งได้รับการพัฒนาต่อมาจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคแรก จุดแตกต่างที่สำคัญของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคที่สองกับของยุคแรกก็คือ การนำเทคโนโลยีแบบดิจิตอลมาแทนการใช้เทคโนโลยีอนาล็อกแบบเดิม เหตุผลที่กลุ่มผู้วิจัยของ GSM ได้เลือกใช้เทคโนโลยีดิจิตอลสำหรับการพัฒนาระบบ GSM ก็เพราะระบบดิจิตอลมีข้อดีกว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบอนาล็อกหลายประการดังต่อไปนี้

1. ระบบดิจิตอลซึ่งสามารถจะใช้ประโยชน์จากสเปกตรัมที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ดีกว่าระบบอนาล็อก เพราะสามารถรับส่งสัญญาณได้จำนวนช่องมากกว่าและคุณภาพของสัญญาณที่ดีกว่า

2. สัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิตอลยังสามารถนำมาติดต่อกับระบบโทรศัพท์ที่มีใช้งานตามบ้านปกติทั่วไปได้โดยตรง เพราะในช่วงเวลานั้นชุมสายของระบบโทรศัพท์ PSTN เหล่านี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก คือ จากเดิมที่ใช้สัญญาณอนาล็อกมาเป็นระบบดิจิตอล

3. นอกจากนี้ในเวลานั้นได้มีการคาดการณ์กันว่าระบบไอเอสดีเอ็น (ISDN : Integrated Service Digital Network) นั้นจะมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายภายในยุโรปในอนาคตอันใกล้ ดังนั้นถ้าใช้ระบบดิจิตอลก็จะสะดวกต่อการสร้างวงจรเชื่อมต่อระหว่างกัน

4. เหตุผลที่สำคัญอีกอย่างหนึ่ง คือ ในระบบดิจิตอลเราสามารถสร้างระบบป้องกันสัญญาณจากการดักฟัง และการแอบใช้บริการจากผู้ที่มิได้เป็นสมาชิกได้อย่างมีประสิทธิภาพกว่าระบบอนาล็อกมาก

ด้วยเหตุนี้เองระบบ GSM จึงออกแบบเป็นระบบดิจิตอล ในปัจจุบัน GSM เป็นที่รู้จักกันในชื่อเต็มว่า Global System for Mobile Communications ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ GSM มีการเริ่มนำมาใช้งานจริงครั้งแรกในราวปี ค.ศ. 1991 และในปัจจุบันระบบ GSM นี้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายกว่า 120 ประเทศทั่วโลก ซึ่งรวมถึงประเทศไทยด้วย จากปริมาณความต้องการใช้งานที่มีมาก ทำให้มีการนำเอามาตรฐาน GSM ที่ใช้งานในย่าน 900 MHz ไปใช้กับความถี่ในย่าน 1800 MHz และมีการเรียกระบบดังกล่าวว่า ดีซีเอส (DCS 1800 : Digital Cellular System 1800) หรือบางทีก็มีชื่อเรียกว่า พีซีเอ็น ซึ่งสามารถดูตัวอย่างรายชื่อของประเทศและบริษัทที่ได้นำระบบ GSM ไปใช้ในการให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ใน ตารางที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 รายชื่อประเทศที่มีการนำระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ไปให้บริการ

ประเทศ	ระบบ	บริษัทที่ให้บริการ
Andorra	GSM	STA
Australia	GSM	Optus , Telecom Australia and Vodafone
Austria	GSM	PTV Austria
Bahrain	GSM	Batelco
Belgium	GSM	Belgacom Mobile
Brunei	GSM	Jabatan Telecom
Bulgaria	GSM	Mobile TEL
Cameroon	GSM	PM
China	GSM	Beijing Telecoms Administration and etc.
Cyprus	GSM	Cyprus Telecomm. Authority
Denmark	GSM	Densk Mobil Telefon and Tele Danmark Mobil
Egypt	GSM	Arento
Estonia	GSM	Eesti Mobiltelefon and Radiolinja Estonia
Fiji	GSM	Vodafone Fiji
Finland	GSM	Radiolinja and Telecom Finaland
France	GSM	Tikiphone
Germany	GSM&DCS	DeteMobil,Mannesmann Mobilfunk and E-Plus Mobilfunk
Gibraltar	GSM	Gibtel
Greece	GSM	Panafon and STET Hellas
Guernsey	GSM	Guernsey Telecoms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

ประเทศ	ระบบ	บริษัทที่ให้บริการ
Hong Kong	GSM	Hongkong Telecom CSL, Smar Tone Mobile Comms And Hutchison
Hungary	GSM	Pannon GSM and Westel 900
Iceland	GSM	Iceland PTT
India	GSM	Bharati Telecom and etc.
Indonesia	GSM	PT Telekom Indnesia and Satelindo
Iran	GSM	TCI
Ireland	GSM	Telecom Eireann Eircell
Italy	GSM	SIP Mobile and Omnitel
Jersey	GSM	Jersey Telecoms
Kuwait	GSM	Mobile Telecommunications Comp
Laos	GSM	Lao Shinawatra Telecom
Latvia	GSM	Latvian Mobile Telephone
Lebanon	GSM	Libancell
Luxembourg	GSM	Luxembourg P&T
Macau	GSM	CTM
Malaysia	GSM/DCS	Binariang, Celcom, Berjaya, Malaysia Resources Corporation, And Sapura
Mauritius	GSM	Mauritius Telecom
Morocco	GSM	Morocco PTT
Netherlands	GSM	PTT Telecom and Second Operator
New Zealand	GSM	BellSouth New Zeland and Telstra
Nigeria	GSM	EMIS Nigeria
Norway	GSM	NetCom GSM and Tele-mobile
Oman	GSM	General Telecommunications Org.
Pakistan	GSM	Pakcom
Philippines	GSM	Globe Telecom and Isla Communications
Poland	GSM	PTK – Centertel
Portugal	GSM	Telecel and TMN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
60512

ตารางที่ 2.6 (ต่อ)

ประเทศ	ระบบ	บริษัทที่ให้บริการ
Qatar	GSM	Q-Tel
Reunion	GSM	SRR
Romania	GSM	Romania Telecoms
Russia	GSM	Mobile Tele Systems and etc.
Saudi Arabia	GSM	MoPTT and Royal Palace of Saudi Arabia
Singapore	GSM	Singapore Telecom
Slovenia	GSM	Slovenian PTT
South Africa	GSM	Mobile Telephone Network and Vodacaom
Spain	GSM	Telafonica
Sri Lanka	GSM	MTN
Sweden	GSM	Comviq GSM
Switzerland	GSM/DCS	Nordic Tel & PTT Telecom
Syria	GSM	Syrian Telecom
Taiwan	GSM	DGPT
Thailand	GSM/DCS	Advanced Info Service & Total Access Communication
Turkey	GSM	Turkish PTT
Uganda	GSM/DCS	MTN Uganda
Uae	GSM	Etisalat
UK	GSM	Telecom Securicor Cellular Radio, Vodafone, Hutchison, Telcom and Mercury
Vietnam	GSM	Vietnam Telecom Services Co
Zaire	GSM	African Telecom Network

2.4.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบ GSM

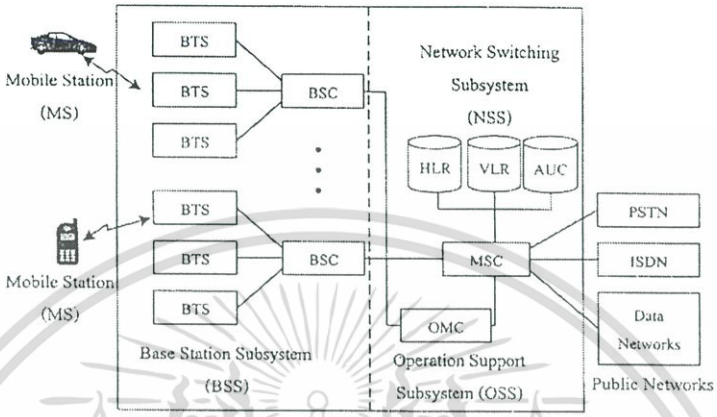
โครงสร้างของระบบ GSM ประกอบด้วยองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้ คือ

1. เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (MS : Mobile Station)
2. ส่วนของสถานีฐาน (BSS : Base Station Subsystem)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ส่วนของระบบเนตเวิร์กและสวิตชิ่ง (NSS : Network and Switching Subsystem)

4. ระบบปฏิบัติการ (OSS : Operation Support Subsystem)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของระบบ GSM

2.4.2.1 เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (MS : Mobile Station)

เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือ MS คือ เครื่องโทรศัพท์ที่ผู้ใช้บริการใช้ในการโทรออกหรือรับสายเรียกเข้านั่นเอง ในปัจจุบันเครื่องโทรศัพท์ที่ใช้งานกันอยู่มีหลายรูปแบบ ตั้งแต่แบบที่ติดตั้งอยู่กับยานพาหนะ (Vehicle – mounted) แบบกระเป๋าหิ้ว (Portable equipment) ไปจนถึงแบบมือถือ (Handheld station) โดยทั่วไปแล้วเครื่องแต่ละประเภทจะแตกต่างกันก็ตรงลักษณะการใช้งาน และกำลังส่งของเครื่อง สำหรับระบบ GSM ได้แบ่งชนิดของเครื่องโทรศัพท์ออกเป็น 5 กลุ่มตามขนาดของกำลังส่งสูงสุดที่ใช้ ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.7 ส่วนระบบ DCS 1800 มีวิธีการแบ่งประเภทของเครื่องโทรศัพท์ที่ต่างออกไป คือ แบ่งเพียง 2 กลุ่ม ทั้งนี้เพราะที่ย่านความถี่ดังกล่าวเซลล์มักจะมีขนาดที่เล็กกว่าทำให้ไม่ต้องใช้กำลังในการส่งที่สูงมากนัก ซึ่งรายละเอียดของแต่ละกลุ่มจะแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 กำลังส่งของเครื่องโทรศัพท์แต่ละประเภทตามมาตรฐานของระบบ GSM

Power class	Maximum power of a mobile station
1	20 W
3	5 W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

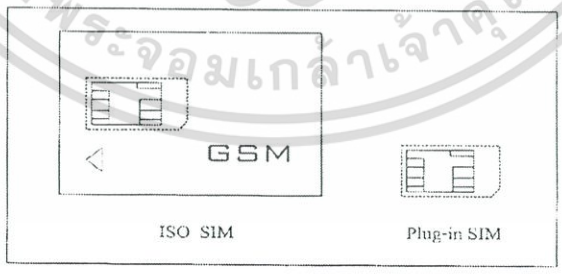
ตารางที่ 2.7 (ต่อ)

3	5 W
4	2 W
5	0.8 W

ตารางที่ 2.8 กำลังส่งของเครื่องโทรศัพท์แต่ละประเภทตามมาตรฐาน DCS 1800

Power class	**Maximum power of a mobile station**
1	1 W
2	0.25 W

ภายในอุปกรณ์โทรศัพท์เครื่องหนึ่งประกอบด้วยส่วนย่อย 2 ส่วน คือ ภาคอุปกรณ์โทรศัพท์ (ME : Mobile Equipment) และตัว SIM ส่วนของ ME ทำหน้าที่จัดการกับการรับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับส่วนของสถานีฐาน และรวมไปถึงอุปกรณ์สำหรับใช้ในการติดต่อกับผู้ใช้ เช่น ไมโครโฟน ลำโพง จอภาพ และปุ่มต่างๆ ขณะที่ในส่วนของ SIM คือ สมาร์ตการ์ด (Smart Card) แผ่นบางๆ ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่เกี่ยวกับผู้ใช้ รายการประเภทของบริการที่ผู้ใช้ได้ขอไว้และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงข่าย เช่น เลขประจำตัวของผู้ใช้ ตำแหน่งหรือบริเวณที่เครื่องโทรศัพท์มีการใช้งานอยู่ และรหัสลับที่ใช้ในการเข้ารหัสสัญญาณเพื่อป้องกันการแอบฟัง เป็นต้น นอกจากนี้ยังอาจจะเก็บหมายเลขโทรศัพท์ที่ผู้ใช้มีการติดต่อด้วยเป็นประจำเพื่อความสะดวกของผู้ใช้บริการ การจัดให้เครื่องโทรศัพท์มีโครงสร้างในลักษณะนี้ช่วยให้เราสามารถเสียบแผ่น SIM เข้าไปในอุปกรณ์ ME ใดก็ได้ แผ่น SIM ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 2 รูปแบบ คือ แผ่นที่มีขนาดเท่ากับบัตรเครดิตเรียกว่า ISO SIM และแบบขนาดเล็กที่เรียกว่า Plug-in SIM ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ประเภทของแผ่น SIM ทั้งสองแบบ

2.4.2.2 ส่วนของสถานีฐาน (BSS : Base Station Subsystem)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BSS ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ สถานีฐาน (BTS : Base Transceiver Station) และตัวควบคุมสถานีฐาน (BSC : Base Station Controller) ส่วนของ BTS ทำหน้าที่ติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ MS ทั้งหลาย โดยที่ BTS หนึ่งตัวจะดูแลครอบคลุมบริเวณพื้นที่จำกัดบริเวณหนึ่งที่เรียกว่า เซลล์ โดยหลักๆ แล้ว BTS ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุคล้ายๆ กันกับส่วน ME ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยขนาดกำลังส่งของสถานีฐานมีได้หลายระดับ ดังรายละเอียดของการแบ่งระดับในตารางที่ 2.9

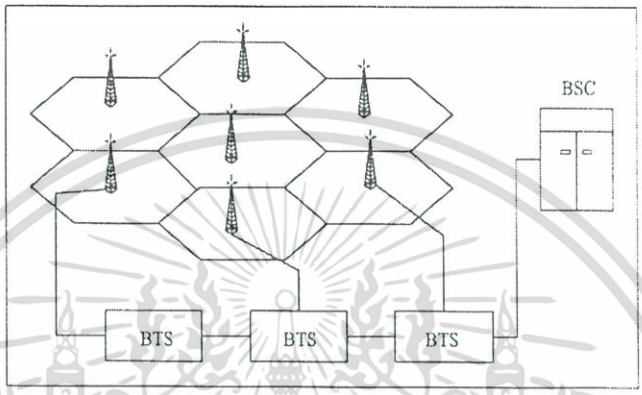
ตารางที่ 2.9 ระดับกำลังส่งของสถานีฐานตามมาตรฐาน GSM 900 และ DCS 1800

Power class	Maximum power of a GSM 900 base station	Maximum powr of a DCS 1800 base station
1	32 0 W	20 W
2	160 W	10 W
3	80 W	5 W
4	40 W	2.5 W
5	20 W	-
Power class	**Maximum power of a GSM 900 base station**	**Maximum powr of a DCS 1800 base station**
6	10 W	-
7	5 W	-
8	2.5 W	-

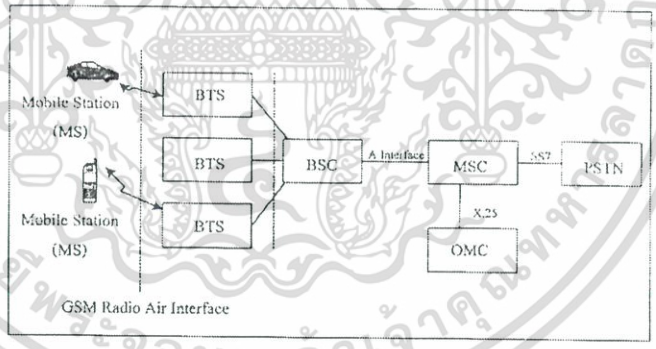
กลุ่มของ BTS ที่ครอบคลุมพื้นที่หลายๆ เซลล์จำนวนหนึ่งจะอยู่ภายใต้การดูแลของ BSC หนึ่งตัว ซึ่งโดยปกติแล้ว BSC หนึ่งตัวจะสามารถดูแลและควบคุม BTS ได้จำนวนมากถึงหลายสิบหรือหลายร้อยชุดดังรูปที่ 2.4 ส่วนของ BSC มีหน้าที่หลักในการควบคุมการทำงานของ BTS ทุกตัวที่อยู่ภายใต้การดูแล เช่น การจัดสรรช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการติดต่อสื่อสาร การเริ่มต้น การเชื่อมต่อและสิ้นสุดของการใช้ช่องสัญญาณแต่ละช่อง และรวมไปถึงเรื่องของการตัดสินใจ และการทำแฮนด์โอเวอร์ระหว่างเซลล์ในกรณีที่โทรศัพท์เคลื่อนที่มีการย้ายจากเซลล์หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปยังเซลล์ข้างเคียง สิ่งต่างๆ เหล่านี้เป็นหน้าที่ของ BSC ที่จะต้องจัดการทั้งหมด นอกจากนี้อีกด้านหนึ่งของ BSC ต่ออยู่กับระบบเนตเวิร์กและสวิตชิ่ง ซึ่งมีชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (MSC : Mobile Service Switching Center) เป็นองค์ประกอบสำคัญ การเชื่อมต่อของอุปกรณ์ทั้งสองนี้จะอาศัยมาตรฐานที่เรียกว่า A interface ส่วนการติดต่อระหว่าง BSC กับส่วน BTS ก็มีมาตรฐานที่แน่นอนเช่นกัน โดยมาตรฐานที่ใช้มีชื่อเรียกว่า Abis interface ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 ลักษณะและหน้าที่ของส่วน BTS และ BSC



รูปที่ 2.5 มาตรฐานการอินเตอร์เฟซที่ใช้ระหว่างจุดต่อต่างๆ ภายในระบบ GSM

2.4.2.3 ระบบเนตเวิร์กและสวิตชิ่ง (NSS : Network and Switching Subsystem)

NSS ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ระบบชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่และฐานข้อมูลสำหรับการจัดการกับการใช้งานของผู้ใช้บริการ ในส่วนของ MSC นั้นด้านหนึ่งต่อเชื่อมอยู่กับ BSC ซึ่งเป็นส่วนที่ดูแลการรับส่งสัญญาณระหว่างสมาชิกผู้ใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่กับส่วนองโครงข่าย ส่วนอีกด้านหนึ่งต่อเชื่อมอยู่กับระบบโทรศัพท์อื่นๆ ดังนั้น MSC จึงเป็นส่วนที่ทำหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สวิตช์ และเชื่อมต่อคู่สายทั้งระหว่างผู้ใช้โทรศัพท์เลื่อนที่สองเครื่องเข้าด้วยกัน และระหว่างผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่กับผู้ใช้โทรศัพท์ธรรมดาหรือผู้ใช้บริการจากโครงข่าประเภทอื่นๆ ด้วย ในการเชื่อมต่อระหว่าง MSC กับโครงข่ายภายนอกอาศัยมาตรฐานการเชื่อมต่อที่เรียกว่า CCITT Signaling System no.7 (SS7) โดยปกติแล้ว MSC หนึ่งชุดสามารถใช้ควบคุมดูแล BSC ได้หลายชุด ทั้งระบบรวมกันสามารถครอบคลุมการให้บริการประชากรได้มากถึงประมาณ 1 ล้านคน สำหรับฐานข้อมูลภายใน NSS ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนหลัก คือ

1. HLR (Home Location Register) เป็นฐานข้อมูลที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผู้ใช้บริการ เช่น สถานะของเครื่องโทรศัพท์ การเปิด ปิด การใช้งานโทรออก การรับสายเข้า บริเวณพื้นที่การใช้งานของเครื่องโทรศัพท์ครั้งหลังสุด และรวมไปถึงประเภทของการบริการเสริมที่ผู้ใช้ต้องการ ในช่วงเวลาที่ผู้ใช้โทรศัพท์เริ่มการใช้งานเพื่อการติดต่อสื่อสาร ข้อมูลที่บรรจุอยู่ในแผ่น SIM บางส่วนจะถูกส่งผ่านจากเครื่องโทรศัพท์ไปยังฐานข้อมูล HLR เพื่อใช้ในการระบุถึงหมายเลขประจำตัวของผู้ใช้และเพื่อตรวจสอบว่าผู้ใช้บริการดังกล่าวมีสิทธิหรือได้รับอนุญาตให้ใช้บริการหรือไม่ โดยที่ฐานข้อมูล HLR จะเก็บรหัสลับของผู้ใช้บริการแต่ละคน

2. AUC (Authentication Center) เป็นฐานข้อมูลที่เก็บข้อมูลที่เป็นความลับ ดังนั้นฐานข้อมูล ประเภทนี้จึงมักจะจัดให้อยู่ในสถานที่ที่ปลอดภัย และจะอนุญาตให้เข้าได้เฉพาะบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องดูแลและรับผิดชอบกับระบบเท่านั้น การจะเข้าถึงข้อมูลเหล่านี้ได้ก็จะต้องมีการใส่รหัสลับผ่านด้วย นอกจากนี้ข้อมูลที่เก็บในฐานข้อมูลยังต้องมีการเข้ารหัสอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งฐานข้อมูล AUC นี้จะติดต่อกับส่วนของ HLR เท่านั้น

3. VLR *Visitor Location Register) เป็นฐานข้อมูลที่อยู่คู่กับ MSC เพื่อเก็บข้อมูลชั่วคราวของผู้ใช้บริการในขณะที่มีการใช้งานอยู่ เช่น เก็บตำแหน่งหรือบริเวณที่เครื่องโทรศัพท์ที่อาจมีการเปลี่ยนไปในขณะที่มีการใช้งานอยู่

โดยรวมแล้วส่วนของ NSS ที่ประกอบขึ้นจาก MSC , HLR , AUC และ VLR มีหน้าที่ในการควบคุมการเรียก (Call Control) หรือจัดการกับตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของเครื่องโทรศัพท์ (Mobility Management) และการดูแลในเรื่องของการให้บริการเสริม (Supplementary Services)

2.4.2.4 ระบบปฏิบัติการ (OSS : Operation Support Subsystem)

ในส่วนสุดท้ายนี้ประกอบด้วยศูนย์ปฏิบัติการและบำรุงรักษา (OMC : Operation and Maintenance Center) ซึ่งมีหน้าที่หลักในการดูแลจัดการเรื่องการปฏิบัติการของระบบโดยรวม การจัดการกับปัญหาของอุปกรณ์บางส่วนที่อาจเกิดความเสียหาย การปรับตั้งค่าต่างๆ ภายในระบบให้เหมาะสม การจัดการเรื่องสมาชิกผู้ใช้บริการของระบบ ซึ่งรวมไปถึงการคิดค่าบริการและออกบิลเก็บค่าบริการ การทำงานของ OMC ส่วนใหญ่แล้วจำต้องมีการติดต่อกับฐานข้อมูล HLR

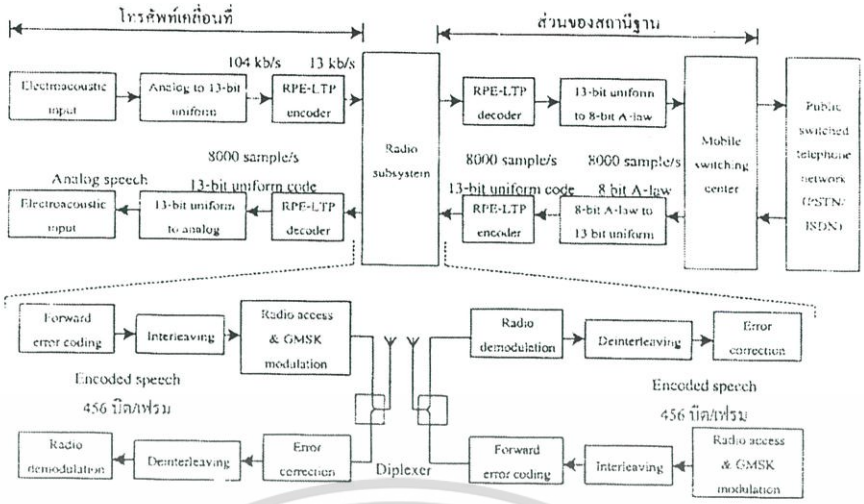
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การรับส่งคลื่นสัญญาณวิทยุในระบบ GSM

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM นั้นได้มีการกำหนดช่วงความถี่สำหรับใช้งานไว้ทั้งหมด 50 MHz ในย่านความถี่ 890 – 915 MHz และ 935 – 960 MHz โดยในย่านความถี่ต่ำนั้นมีไว้สำหรับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ Mobile Station (MS) ในการส่งข้อมูลไปที่สถานีฐานรับส่งสัญญาณ Base Transceiver Station (BTS) และในส่วนของย่านความถี่สูงมีไว้ส่งข้อมูลในทิศทางตรงกันข้ามภายในแบนด์วิดธ์ขนาด 25 MHz ของการส่งข้อมูลแต่ละทิศนี้ GSM ได้แบ่งจำนวนช่องของคลื่นพาห์ไว้ทั้งหมด 124 ช่อง โดยแต่ละช่องมีความถี่ห่างกันเท่ากับ 200 KHz ลักษณะการแบ่งช่องสัญญาณแบบนี้มีชื่อเรียกว่า FDMA และในแต่ละคลื่นพาห์ใช้ส่งสัญญาณได้ทั้งหมด 8 ช่องสัญญาณโดยวิธีที่เรียกว่า TDMA ดังนั้นจะเห็นว่า GSM อาศัยทั้งวิธี FDMA และ TDMA จากรูปที่ 2.6 แสดงบล็อกไดอะแกรมการสร้างสัญญาณสำหรับการส่งผ่านข้อมูลโดยรวมของระบบ GSM ในส่วนด้านซ้ายคือ ส่วนของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งประกอบด้วยวงจรแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลและวงจรเข้ารหัสสัญญาณ เพื่อลดขนาดของอัตราบิตที่ต้องใช้ลงโดยที่คุณภาพของเสียงยังคงอยู่ในระดับที่ใช้งานได้ (RPE-LTP encoder) สัญญาณที่ได้นี้จะผ่านกระบวนการเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel Coding) เช่น การเข้ารหัสคอนโวลูชันและการทำอินเตอร์ลีฟ ก่อนที่จะทำการส่งออก ทั้งนี้เพื่อป้องกันสัญญาณจากช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนมาก การเข้ารหัสช่องสัญญาณนี้มีข้อเสียอย่างหนึ่ง คือ ทำให้อัตราบิตของข้อมูลมีขนาดสูงขึ้น ซึ่งทำให้การส่งผ่านสัญญาณจำเป็นต้องใช้แบนด์วิดธ์มีขนาดกว้างขึ้น จากนั้นสัญญาณนี้จะถูกส่งออก โดยใช้วิธีการมอดูเลตแบบ GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)

เมื่อสัญญาณนี้เดินทางถึงภาครับซึ่งคือสถานีฐาน ก็จะถูกนำไปผ่านกระบวนการที่กลับกันกับที่ภาคส่งเพื่อดึงสัญญาณที่ต้องการออกมา สัญญาณที่ได้ซึ่งจะอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอลก็จะถูกสวิตช์ เพื่อเชื่อมต่อกับโทรศัพท์เครื่องนี้กับอีกเครื่องหนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็นโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือเป็นโทรศัพท์แบบธรรมดาก็ได้โดยอาศัยส่วนที่เรียกว่า MSC (Mobile Switching Center) ในทางกลับกันสัญยาณที่ได้ออกจากส่วนของวงจรสวิตช์จะถูกส่งกลับไปที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยใช้วิธีและขั้นตอนที่คล้ายคลึงกับในทิศทางการส่งจากเครื่องโทรศัพท์ไปที่สถานีฐานดังที่อธิบายไว้ข้างต้น

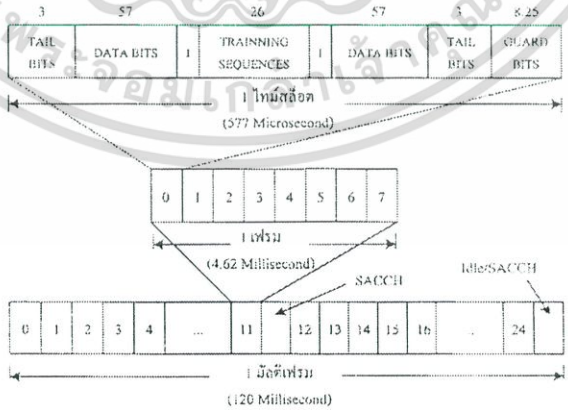
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ภาพรวมของการรับส่งคลื่นสัญญาณในระบบ GSM

2.4.4 โครงสร้างของเฟรมในระบบ GSM

สำหรับคลื่นพาห์หนึ่งความถี่ซึ่งมีนาดแบนด์วิดธ์เท่ากับ 200 KHz นั้นระบบ GSM ได้นำมาใช้ส่งข้อมูลดิจิตอลในอัตรา 270.833 Kbps โดยได้จัดรูปแบบของข้อมูลเป็นลักษณะของ เฟรม (Frame) ซึ่งใน 1 เฟรมมีความยาวเท่ากับ 4.62 ms และแต่ละเฟรมประกอบด้วย 8 ไทม์สล็อต (TS : Time slot) โดยที่แต่ละไทม์สล็อตมีความยาวเท่ากับ 577 uS ซึ่งมีไว้สำหรับรับและส่งข้อมูลระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีรับส่งสัญญาณหนึ่งคู่ เมื่อนำเฟรมจำนวน 26 เฟรมมาประกอบกันก็จะได้เป็นหนึ่งมัลติเฟรม (Multi - frame) ที่มีความยาวเท่ากับ 120 mS ภายใน 1 มัลติเฟรมจะมีเพียง 24 เฟรมเท่านั้นที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลของผู้ใช้ และที่เหลืออีก 2 เฟรม คือ เฟรมที่ 12 และ 25 โดยเฟรมที่ 12 มีไว้สำหรับส่งสัญญาณซิกเนลลิงที่เรียกว่า SACCH และเฟรมที่ 25 เป็นเฟรมแบบ Idle / SACCH ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของมัลติเฟรม เฟรมและไทม์สล็อตในระบบ GSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของหนึ่งไทม์สล็อตประกอบด้วย

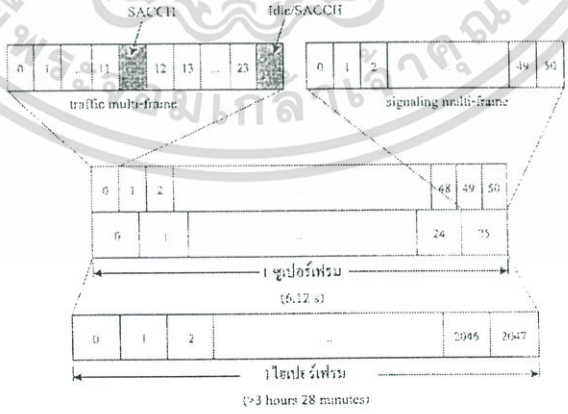
1.The tail bits จำนวน 2 ชุด โดยมีไว้สำหรับทำหน้าที่เป็นตัวกำกับจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของแต่ละไทม์สล็อต tail bit แต่ละชุดมีขนาดเท่ากับ 3 บิตและมีค่าเป็น 0 ทั้งหมด

2.The encrypted bits ประกอบด้วยข้อมูลที่ผ่านการเข้ารหัสจำนวน 57 บิต 2 ชุด และมี Stealing Flag 1 บิตอีก 2 ชุดต่ออยู่ด้วย บิตเหล่านี้มีไว้สำหรับบรรจุข้อมูลเสียง หากแต่ว่าในบางโอกาส อาจถูกนำไปใช้ส่งสัญญาณซิกแนลลิง FACCH ชั่วคราว ดังนั้นจึงใช้ Stealing Flag เป็นตัวบอกว่าช่อง Data bit ขณะนั้นๆ กำลังถูกนำไปใช้สำหรับส่งข้อมูลเสียงหรือสัญญาณซิกแนลลิงอยู่

3.The training sequence ขนาด 26 บิตมีไว้สำหรับส่งค่าพารามิเตอร์ของช่องสัญญาณสื่อสารในขณะเวลานั้นๆ เพื่อให้อุปกรณ์อีควอไอเซอร์ปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับสาพของช่องสัญญาณสื่อสาร ซึ่งมักจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอๆ

4.The guard bits เป็นบริเวณว่างเปล่ามีเผื่อไว้เพื่อป้องกันการทับกันของสัญยาณในสองไทม์สล็อตที่ติดกันที่ส่งจากโทรศัพท์เคลื่อนที่สองตัว โดยสาเหตุหลักเกิดจากการที่โทรศัพท์มีการเคลื่อนที่ในระหว่างใช้งานทำให้จังหวะเวลาที่สัญญาณถูกส่งออกมีการคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น จำนวนของ Guard bits ได้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 8.25 บิต ซึ่งคิดเป็นช่วงเวลาเท่ากับ 30 uS

โครงสร้างมัลติเฟรมที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้เป็นหลัก มัลติเฟรมประเภทนี้มีชื่อเรียกว่า Traffic multi – frame นอกจากสัญญาณข้อมูลของผู้ใช้แล้ว ระบบจำเป็นต้องมีการรับส่งสัญญาณประเภทซิกแนลลิง (Signaling) ด้วย ซึ่งในส่วนของการรับส่งสัญญาณซิกแนลลิงนั้นระบบ GSM ได้กำหนดมัลติเฟรมอีกประเภทหนึ่งไว้ที่เรียกว่า Signaling multi – frame โดยที่มัลติเฟรมแบบนี้ประกอบด้วยจำนวนเฟรมทั้งหมด 51 เฟรมหรือมีความยาวเท่ากับ 235.4 ms ดังรูปที่ 2.8 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในระบบ GSM มีมัลติเฟรมอยู่ 2 ประเภท



รูปที่ 2.8 โครงสร้างของไฮเปอร์เฟรม ซูเปอร์เฟรม และมัลติเฟรม ในระบบ GSM

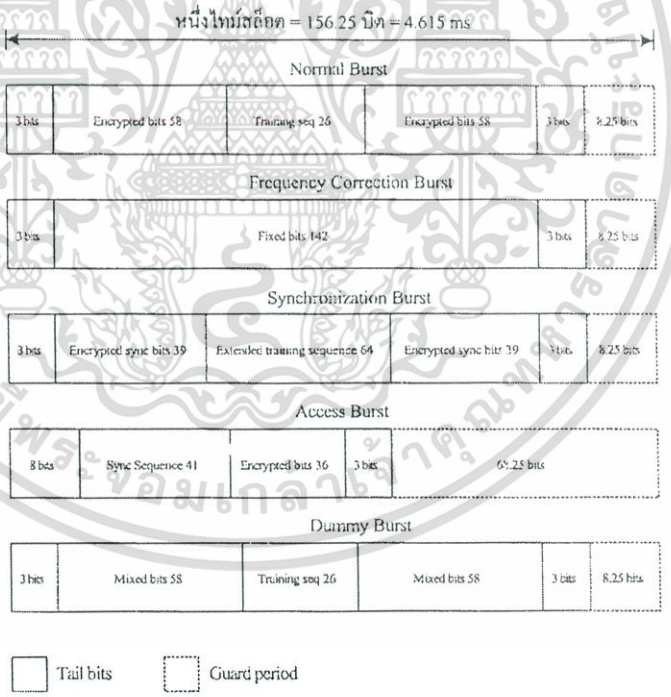
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากมัลติเฟรมแล้ว GSM ยังได้กำหนดซูเปอร์เฟรม (Super frame) ไว้ด้วยซึ่งสามารถสร้างขึ้นได้ 2 วิธี คือ สร้างจากมัลติเฟรมที่ใช้สำหรับส่งข้อมูลผู้ใช้ทั้งหมด 51 ชุด หรือสร้างจากมัลติเฟรมที่ใช้สำหรับรับส่งสัญญาณซิกแนลลิงทั้งหมด 26 ชุด ดังนั้นคาบเวลาของซูเปอร์เฟรมมีค่าเท่ากับ 6.12 วินาที

โครงสร้างของเฟรมที่ใหญ่ที่สุดในระบบ GSM คือ ไฮเปอร์เฟรม (Hyper frame) ซึ่งประกอบขึ้นจากซูเปอร์เฟรมจำนวนทั้งสิ้น 2,048 ชุด ดังนั้นคาบเวลาของ 1 ไฮเปอร์เฟรมมีค่าเท่ากับ 3 ชั่วโมง 28 นาที 53 วินาที 760 มิลลิวินาที

2.4.5 ประเภทของเบิรสต์ (Burst)

ที่ผ่านมาข้างต้นได้อธิบายถึงโครงสร้างของไทม์สล็อตที่มีชื่อเรียกว่า Normal Burst เท่านั้น ที่จริงแล้วระบบ GSM ได้มีการกำหนดโครงสร้างของไทม์สล็อตหรือที่เรียกว่า เบิรสต์ (Burst) ไว้ทั้งหมด 5 ชนิด เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในการส่งสัญญาณชนิดต่างๆ สำหรับลักษณะโครงสร้างของเบิรสต์ทั้ง 5 ชนิดสามารถดูได้จากรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของเบิรสต์แบบต่างๆ ที่ใช้ในระบบ GSM

1. เบิรสต์ปกติ (Normal Burst)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Normal Burst เป็นเบิรสต์ที่มีโครงสร้างดังที่อธิบายไว้ข้างต้น มีไว้สำหรับรองรับสัญญาณประเภท TCH และสัญญาณอื่นๆ ยกเว้นสัญญาณ RACH, SCH และ FCCH ซึ่งจะใช้เบิรสต์แบบอื่น

2. เบิรสต์ปรับแก้ความถี่ (Frequency Correction Burst)

Frequency Correction Burst เบิรสต์ประเภทนี้มีไว้สำหรับส่งสัญญาณ FCCH โดยเฉพาะเพื่อช่วยให้เครื่องโทรศัพท์สามารถซิงโครไนซ์ความถี่ของคลื่นพาห์ได้อย่างถูกต้อง ค่าของ Fixed Bits ได้กำหนดให้มีค่าเป็นศูนย์ทั้งหมด นั่นหมายความว่าส่วนของคลื่นพาห์จะไม่มีข้อมูลมามอดูเลทอยู่เลย ดังนั้นสัญญาณที่ได้ก็คือสัญญาณรูปไซน์นั่นเอง

3.เบิรสต์สำหรับการซิงโครไนซ์ (Synchronization Burst)

Synchronization Burst เป็นเบิรสต์ที่มีไว้สำหรับส่งสัญญาณ SCH ซึ่งช่วยในการซิงโครไนซ์จังหวะเวลาการรับส่ง (Time Synchronization) ของเครื่องโทรศัพท์ โดยจะมีข้อมูลต่างๆ เช่น หมายเลขเฟรมของ TDMA และ BSIC (Base Station Identity Code) ในส่วนของหมายเลขเฟรมนั้น GSM ได้กำหนดให้แต่ละเฟรมมีหลายเลขติดอยู่โดยจะใช้ทั้งหมด 2,715,648 หมายเลข และจะมีการเริ่มหมายเลขเดิมใหม่เมื่อครบหนึ่งรอบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 ไฮเปอร์เฟรมหรือประมาณทุกๆ 3 ชั่วโมงครึ่ง ในส่วนของโค้ด BSIC นั้นจะช่วยให้เครื่องโทรศัพท์สามารถตรวจสอบได้ว่าสัญญาณที่รับได้นั้นมาจากสถานีฐานใด เพื่อมิให้เกิดความสับสนกับสัญญาณจากแหล่งอื่นที่ใช้ความถี่เดียวกัน

4.เบิรสต์แอกเซส (Access Burst)

Access Burst เป็นเบิรสต์ที่มีขนาดของ Guard Period ยาวกว่าเบิรสต์แบบอื่นๆ ทั้งนี้เพราะมีไว้สำหรับการส่งสัญญาณในการติดต่อครั้งแรกของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งเครื่องโทรศัพท์นั้นจะไม่ทราบถึงจังหวะเวลาการส่งที่ถูกต้อง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเผื่อช่วงเวลา Guard Period ไว้ให้กว้างเพียงพอ โดยเฉพาะในกรณีที่โทรศัพท์อยู่ห่างจากสถานีฐานมากๆ ทั้งนี้เพราะสัญญาณจะต้องใช้เวลาเดินทางระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งอาจจะนานพอที่ทำให้ขณะที่สัญญาณเดินทางถึงสถานีฐานส่วนปลายของสัญญาณอาจจะไปทับกับส่วนต้นของสัญญาณของไทม์สล็อตถัดมาของโทรศัพท์อีกเครื่องหนึ่งที่อยู่ใกล้กับสถานีฐาน

5.เบิรสต์ดัมมี (Dummy Burst)

Dummy Burst เบิรสต์แบบนี้จะส่งโดย BTS ในบางโอกาสเท่านั้น โดยมิได้บรรจุข้อมูลใดๆ ในส่งออกเลย โครงสร้างของ Dummy Burst มีลักษณะคล้ายคลึงกับโครงสร้างของ Normal Burst ยกเว้นในส่วนของ Encrypted bits ซึ่งจะมีชุดบิตที่เรียกว่า Mixed bits ซึ่งมีรูปแบบที่แน่นอนและตายตัวมาแทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 ประเภทของสัญญาณ

ไทม์สล็อตหรือเบิรสต์ทั้ง 5 ประเภทที่ได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้ มีไว้สำหรับใช้ในการรับส่งสัญญาณแบบต่าง ๆ หลากหลายชนิดที่เกิดขึ้นภายในระบบระหว่างเครื่องโทรศัพท์และสถานีฐาน ในส่วนต่อไปนี้จะกล่าวถึงประเภทของสัญญาณที่มีการใช้ในระบบ GSM เราสามารถแบ่งประเภทของสัญญาณนี้ออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่มีไว้สำหรับรับส่งสัญญาณเสียงและข้อมูลประเภทดาต้าของผู้ใช้บริการ (Traffic Channel) และกลุ่มที่มีไว้สำหรับรับส่งสัญญาณซิกแนลลิงของโครงข่ายเอง (Signaling Channel) สำหรับรายละเอียดของสัญญาณแต่ละกลุ่มจะได้กล่าวถึงต่อไป

2.4.6.1 ช่องสัญญาณทราฟฟิก (Traffic Channel)

TCH (Traffic Channel) เป็นช่องสัญญาณที่มีไว้สำหรับให้บริการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้โทรศัพท์ โดยสามารถแบ่งการบริการรับส่งข้อมูลออกได้เป็น 2 ประเภท คือ เสียง และข้อมูลประเภทดาต้า การรับส่งข้อมูลแต่ละประเภทอาจจะเป็นแบบ Full Rate คือ บรรจุข้อมูลลงในหนึ่งไทม์สล็อตของทุก ๆ เฟรม หรืออาจจะเป็นแบบ Half Rate คือ บรรจุข้อมูลลงในไทม์สล็อตเพียงหนึ่งครั้งต่อเฟรมหรือ 2 เฟรมก็ได้ สังเกตว่าการส่งแบบ Half Rate จะช่วยให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการได้มากขึ้นเท่าตัว แต่นั่นหมายถึงว่าจำนวนบิตข้อมูลที่ผู้ใช้แต่ละคนก็ลดลงครึ่งหนึ่งด้วย ตามมาตรฐาน GSM นั้นได้แบ่งประเภทของช่องสัญญาณ TCH ไว้ทั้งหมด 7 รูปแบบ ดังที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 2.10 การให้บริการทั้ง 7 รูปแบบที่กล่าวมานี้ระบบโทรศัพท์จะต้องจัดสรรช่องสัญญาณหนึ่งช่องไว้เฉพาะสำหรับความต้องการดังกล่าวตลอดช่วงเวลาใช้งาน (Dedicated Channel) และการรับส่งสัญญาณประเภทนี้จะเกิดขึ้นทั้ง 2 ทิศทาง คือ ทั้งไปและกลับสำหรับการรับส่งสัญญาณเสียงมีได้ 2 แบบ คือ TCH/FS และ TCH/HS ในกรณีของ TCH/FS สัญญาณเสียงที่ได้รับการแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลมีอัตราบิตเท่ากับ 13 Kbps จะนำไปผ่านกระบวนการเข้ารหัสช่องสัญญาณเพื่อให้การรับส่งสัญญาณมีความถูกต้องมากขึ้น ผลที่ได้คือข้อมูลที่มีอัตราบิตสำหรับส่งจริงเท่ากับ 22.8 Kbps ส่วนช่องสัญญาณ TCH/HS มีอัตราบิตที่ลดลงครึ่งหนึ่ง ซึ่งหมายถึงว่าวิธีการเข้ารหัสสัญญาณเสียงที่จะใช้จำต้องมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นั่นคือ คุณภาพเสียงต้องยังคงเดิมขณะที่จำนวนบิตที่ใช้ในการส่งมีปริมาณลดลง

การรับส่งสัญญาณประเภทดาต้า มีรูปแบบการส่งอยู่ 5 ประเภท คือ TCH/F9.6, TCH/F4.8, TCH/F2.4 ซึ่งเป็นการรับส่งแบบ Full Rate และ TCH/H4.8, TCH/H2.4 ซึ่งเป็นการรับส่งแบบ Half Rate สำหรับอัตราการส่งของแต่ละประเภทช่องสัญญาณก็มีความแตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 ประเภทของช่องสัญญาณ TCH

Speech	Raw user data rate (Kbps)	Sending rate (Kbps)
TCH/FS	13	22.8
TCH/HS	6.5	11.4
TCH/F9.6	9.6	22.8
TCH/F4.8	4.8	22.8
TCH/F2.4	2.4	22.8
TCH/H4.8	4.8	11.4
TCH/H2.4	2.4	11.4

2.4.6.2 ช่องสัญญาณซิกแนลลิง (SC : Signaling Channel)

SC คือ ช่องสัญญาณที่มีไว้ใช้ในการรับส่งสัญญาณซิกแนลลิงระหว่างเครื่องโทรศัพท์และสถานีฐานเพื่อช่วยให้การทำงานของระบบดำเนินไปอย่างถูกต้อง สัญญาณซิกแนลลิงที่ใช้ในระบบ GSM มีอยู่หลายชนิดโดยสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย คือ BCH (Broadcast Channel), CCCH (Common Control Channel) และ DCCH (Dedicated Control Channel) สำหรับการส่งสัญญาณซิกแนลลิงของสถานีฐานประเภท BCH และ CCCH นั้นจะมีการส่งลงบนคลื่นพาห์เฉพาะบางความถี่ที่ได้กำหนดให้เป็นช่องกระจายสัญญาณเท่านั้นและการส่งจะส่งในไทม์สล็อตที่ศูนย์ TS0 ของมัลติเฟรมประเภท Signaling multi-frame เท่านั้น การกำหนดวิธีการส่งแบบนี้ก็เพื่อที่ไทม์สล็อตที่เหลืออีก 7 ช่องบนคลื่นพาห์พิเศษนี้สามารถนำมาใช้ในการรับส่งสัญญาณเสียงได้ สำหรับมาตรฐานของระบบ GSM ได้กำหนดคลื่นพาห์พิเศษสำหรับการกระจายสัญญาณซิกแนลลิงนี้ไว้จำนวนทั้งสิ้น 34 คลื่นความถี่ โดยที่คลื่นความถี่เหล่านี้จะใช้โครงสร้างมัลติเฟรมแบบที่มีขนาดเท่ากับ 51 เฟรม

BCH (Broadcast Channels) เป็นกลุ่มของสัญญาณซิกแนลลิงที่ใช้ส่งในทิศทางเดียว คือ จากสถานีฐานไปที่โทรศัพท์ (Downlink) โดยที่การส่งนั้นจะกระทำเป็นระยะที่สม่ำเสมอและต่อเนื่องตลอดเพื่อประกาศให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งหลายได้ทราบข้อมูลที่เกี่ยวกับเซลล์ที่เครื่องโทรศัพท์อยู่และเซลล์ที่อยู่รอบข้างด้วย สัญญาณกลุ่มนี้จะบรรจุอยู่ในไทม์สล็อตที่ศูนย์ TS0 ของมัลติเฟรมแบบที่มี 51 เฟรม (Signaling multi-frame) เท่านั้น โดยสัญญาณในกลุ่มนี้มี 3 ชนิด ดังจะได้กล่าวต่อไปนี้

BCCH (Broadcast Control Channel) มีไว้สำหรับสถานีฐานใช้ในการกระจายข้อมูลต่าง ๆ เช่น หมายเลขประจำตัวของเซลล์ หมายเลขประจำตัวของโครงข่าย โครงสร้างและสถานะของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

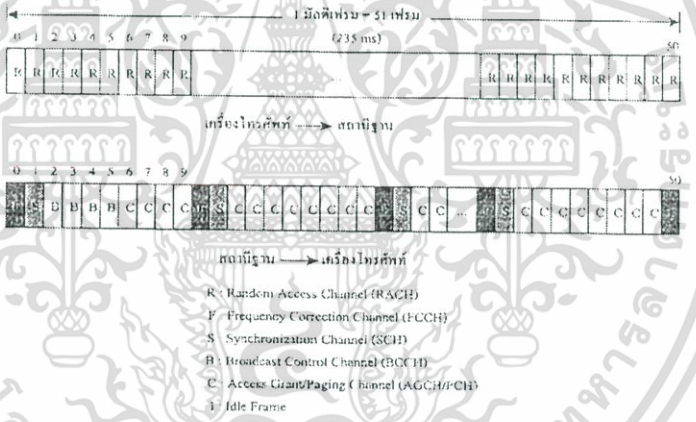
ช่องสัญญาณ และรายละเอียดของช่องสัญญาณที่มีการใช้งาน ช่องสัญญาณนี้จะส่งในไทม์สล็อตที่ศูนย์ของเฟรมบางเฟรมเท่านั้น คือ จะส่งเฉพาะเฟรมที่ 2 – 5 ในทุก ๆ 51 เฟรม ดังรูปที่ 2.10

FCCH (Frequency Correction Channel) เป็นช่องสัญญาณที่มีการส่งออกที่ไทม์สล็อตที่ศูนย์ของเฟรมที่ 0, 10, 20, 30 และ 40 ของทุก ๆ มัลติเฟรม สัญญาณ FCH มีไว้เพื่อช่วยให้เครื่องโทรศัพท์สามารถซิงโครไนซ์ความถี่ของคลื่นพาห์ให้ถูกต้องตรงกับความถี่ที่ใช้ที่สถานีฐาน

SCH (Synchronization Channel) สัญญาณ SCH จะมีการส่งออกในเฟรมที่ถัดต่อจากเฟรมที่มีการส่งสัญญาณ FCH ทันที มีไว้สำหรับช่วยให้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถซิงโครไนซ์หมายเลขของเฟรม (Frame Number) ให้ถูกต้องโดยมาตรฐานระบบ GSM ได้กำหนดหมายเลขของเฟรมไว้ตั้งแต่ 0 ถึง 2, 715, 647 (26x51x2,048)

CCCH (Common Control Channel) เป็นกลุ่มของสัญญาณซิกแนลลิงที่มีการส่งในทั้งสองทิศทาง โดยการรับส่งสัญญาณจะเกิดขึ้นได้เฉพาะในไทม์สล็อตที่ศูนย์ของเฟรมใด ๆ ก็ได้ที่มิได้ถูกใช้ในการส่งสัญญา BCH ข้างต้น สัญญาณในกลุ่มนี้มี 3 ประเภท ดังนี้ คือ

PCH (Paging Channel) ใช้ส่งจากสถานีฐานไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ภายในเซลล์เพื่อค้นหาเครื่องโทรศัพท์เครื่องที่ต้องการติดต่อด้วย



R : Random Access Channel (RACH)

F : Frequency Correction Channel (FCCH)

S : Synchronization Channel (SCH)

B : Broadcast Control Channel (BCCH)

C : Access Grant/Paging Channel (AGCH/PCH)

I : Idle Frame

รูปที่ 2.10 โครงสร้างการใช้งานของมัลติเฟรมประเภท 51 เฟรมเฉพาะ TS0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RACH (Random Access Channel) ใช้ส่งออกโดยเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เพื่อตอบรับการค้นหาหรือเพจจากสถานีฐาน หรือใช้สำหรับการแสดงความต้องการโทรศัพท์ออก ช่องสัญญาณประเภทนี้มีคุณลักษณะที่แตกต่างไปจากช่องสัญญาณอื่น ๆ ตรงที่เป็นช่องสัญญาณที่มีการใช้งานร่วมกันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ทั้งหมดภายในเซลล์โดยที่ไม่มีการจัดสรรการใช้งานของแต่ละไทม์สล็อตอย่างชัดเจน เพราะฉะนั้นจึงมีโอกาสที่เครื่องโทรศัพท์มากกว่าหนึ่งเครื่องส่งสัญญาณ RACH ออกพร้อม ๆ กันลงในไทม์สล็อตเดียวกัน การชนกันของสัญญาณนี้อาจส่งผบให้สถานีฐานไม่ได้รับสัญญาที่ถูกต้อง ในระบบ GSM อาศัยวิธีการที่เรียกว่า Slotted Aloha เพื่อจัดการกับปัญหาดังกล่าวนี้AGCH (Access Grant Channel) เป็นช่องสัญญาณที่สถานีฐานใช้ในการตอบรับการติดต่อโดย RACH จากเครื่องโทรศัพท์ และส่งข้อมูลของช่องสัญญาณ SDCCH สำหรับใช้ในการติดต่อระหว่างกันในรายละเอียดสัญญาณเหล่านี้จะใช้ในการติดต่อกันครั้งแรกระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับสถานีฐาน ในกรณีที่สถานีฐานพยายามจะติดต่อไปที่เครื่องโทรศัพท์เครื่องหนึ่งสถานีฐานจะส่งสัญญาณ PCH ออกไปเพื่อค้นหาตำแหน่งของโทรศัพท์ที่ต้องการจะติดต่อด้วย ซึ่งถ้าโทรศัพท์เครื่องนั้นได้รับ สัญญาณนี้ก็จะตอบรับโดยใช้สัญญาณ RACH ส่งกลับไปในทางตรงกันข้าม จากนั้นสถานีฐานก็ส่งสัญญาณ AGCH กลับไปพร้อมกับจัดสรรช่องสัญญาณ SDCCH สำหรับใช้ในการติดต่อในรายละเอียด ส่วนกรณีที่ถ้าโทรศัพท์เครื่องหนึ่งต้องการจัดติดต่อกับสถานีฐาน เช่น ต้องการจะโทรออก ก็จะส่งสัญญาณ RACH ออกไปโดยที่สถานีฐานก็จะตอบรับโดยการส่งสัญญาณ AGCH กลับไปพร้อมกับจัดช่องสัญญาณ SDCCH ให้ด้วย

DCCH (Dedicated Control Channel) เป็นกลุ่มของช่องสัญญาณที่คล้ายกันกับช่องสัญญาณ TCH คือ มีลักษณะการรับส่งสัญญาณเป็นแบบ Point to Point และมีการรับส่งได้สองทิศทาง กลุ่ม DCCH นี้ประกอบด้วยสัญญาณ 3 ประเภท คือ

1. SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel) ช่องสัญญาณนี้ใช้สำหรับการรับส่งสัญญาณซิกแนลลิงในช่วงก่อนที่การรับส่งสัญญาณข้อมูลของผู้ใช้จะเกิดขึ้น ตัวอย่างกิจกรรมที่ต้องใช้สัญญาณซิกแนลลิงเหล่านี้ คือการ Authentication และ Registration

2. SACCH (Slow Associated Control Channel) เป็นช่องสัญญาณที่จะอยู่คู่กับสัญญาณ TCH เสมอ สัญญาณนี้จะถูกส่งออกอย่างต่อเนื่องเป็นระยะ ๆ ตลอดเวลาและมีหน้าที่หลายอย่าง เช่น ใช้ส่งสัญญาณบอกถึงระดับความแรงของเครื่องโทรศัพท์ที่รับได้ ใช้ช่วยในช่วงเวลาที่มีการแฮนด์โอเวอร์ (Handover) เกิดขึ้น ใช้ปรับจังหวะการส่งสัญญาณของเครื่องโทรศัพท์ในแต่ละเฟรมให้ถูกต้อง และใช้ควบคุมระดับของกำลังสัญญาณส่งให้อยู่ระดับที่เหมาะสม (Power Control) โดยปกติสัญญาณนี้บรรจุอยู่ในไทม์สล็อตที่ 12 ของแต่ละมัลติเฟรม แต่หากระบบมีการใช้ช่องสัญญาณ TCH แบบ Half Rate ไทม์สล็อตที่ 25 ซึ่งปกติจะกำหนดให้เป็น Idle จะถูกนำมาใช้ในการรับส่งสัญญาณ SACCH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. FACCH (Fast Associated Control Channel) เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับช่วงเวลาการรับส่งข้อมูลของผู้ใช้ที่ส่งผ่านช่องสัญญาณ TCH ซึ่งโดยปกติจะไม่มีความจำเป็นในการใช้สัญญาณนี้ นอกจากในกรณีที่ระบบมีความจำเป็นต้องส่งสัญญาณซิกแนลลิงในปริมาณมากและมากเกินกว่าที่ช่องสัญญาณ SACCH เพียงช่องเดียวจะตอบสนองได้ เช่นในกรณีที่มีการแฮนด์โอเวอร์เกิดขึ้น FACCH จะใช้ช่องสัญญาณที่โดยปกติใช้สำหรับรับส่งสัญญาณเสียงของผู้ใช้เป็นเวลา 20 ms ซึ่งหมายถึงว่า ข้อมูลเสียงของผู้ใช้จะหายไป 20 ms และภาครับก็จะใช้ข้อมูลของ 20 ms ที่แล้วมาแทน

2.4.7 การเข้ารหัสช่องสัญญาณในระบบ GSM

ในระบบ GSM เราสามารถแบ่งรหัสการเข้าช่องสัญญาณออกเป็น 3 แบบหลัก ตามประเภทของสัญญาณข้อมูลที่จะส่ง คือ สัญญาณข้อมูลเสียง (Speech), สัญญาณข้อมูลประเภทดาต้า (Data) และสัญญาณซิกแนลลิง (Signaling) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการเข้ารหัสช่องสัญญาณของสัญญาณข้อมูลที่เป็นประเภทหลัก ๆ คือ TCH/FS ที่ใช้สำหรับการส่งสัญญาณเสียง TCH/F9.6 ที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณประเภทดาต้าที่อัตราบิตเท่ากับ 9.6 Kbps หรือ TCH/F2.4 ที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณประเภทดาต้าที่อัตราบิตเท่ากับ 2.4 Kbps และสัญญาณซิกแนลลิง

2.4.7.1 การเข้ารหัสช่องสัญญาณของสัญญาณเสียง TCH/FS

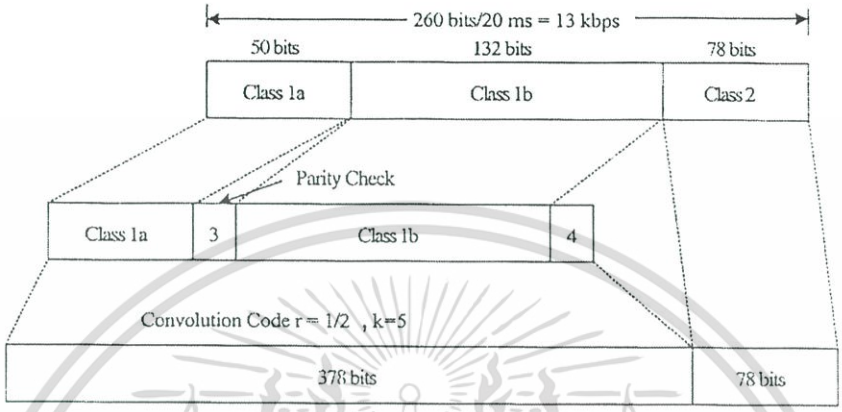
ข้อมูลเสียงซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลก่อนด้วยอัตราการสุ่มเท่ากับ 8,000 Sample/sec. โดยใช้ 13 bits/sample จากนั้นจะนำไปเข้ารหัสด้วยวิธี RPE-LTP (Regular Pulse Excitation-Long Term Prediction) ซึ่งจะได้ข้อมูลออกมาในอัตราเท่ากับ 13 Kbps ข้อมูลเหล่านี้จะต้องนำไปทำเข้ารหัสช่องสัญญาณก่อนเพื่อปกป้องข้อมูลเสียงจากการผิดพลาดของข้อมูลระหว่างการส่งผ่าน ในการเข้ารหัสช่องสัญญาณนั้นข้อมูลเสียงจะถูกแบ่งเป็นบล็อก ๆ ที่มีขนาดเท่ากับ 20 ms ซึ่งมีจำนวนบิตทั้งหมดเท่ากับ 260 บิต จากนั้นข้อมูลนี้จะถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามความสำคัญของข้อมูลนั้น ๆ

กลุ่มแรกเรียกว่า Class 1 a มีจำนวน 50 บิตซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความสำคัญที่สุดจึงได้เพิ่มบิตพิเศษอีก 3 บิตสำหรับทำการเข้ารหัส CRC เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลที่ได้รับมีความผิดพลาดหรือไม่ชุดของโพลิโนเมียลที่ใช้ คือ $X^3 + X + 1$ ในกรณีที่พบว่ามีความผิดพลาดเกิดขึ้น ข้อมูลทั้งบล็อกก็จะถูกทิ้งไปและอาศัยวิธีการที่เรียกว่า Interpolation มาแทนที่

กลุ่มที่สองมีชื่อเรียกว่า Class 1 b ซึ่งมีทั้งหมด 132 บิต จะนำไปรวมกับข้อมูลที่เข้ารหัสแล้วของกลุ่มที่หนึ่งและเพิ่มอีก 4 บิตต่อท้าย จากนั้นก็นำข้อมูลทั้ง 189 บิตนี้ไปทำการเข้ารหัสแบบคอนโวลูชั่น (Convolution code) ที่มีอัตราการเข้ารหัสเท่ากับ ½ โดยมี Constraint length เท่ากับ 5 และชุดโพลิโนเมียที่ใช้ คือ $X^4 + X^3 + 1$ และ $X^4 + X^3 + X + 1$ ผลที่ได้ คือ ข้อมูลจำนวนเท่ากับ 378 บิต และในขั้นสุดท้ายก็จะนำกลุ่มที่ 3 ที่เรียกว่า Class 2 จำนวน 78 บิต มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อท้ายเลยโดยไม่มีการเข้ารหัสใด ๆ เลย ดูรูปที่ 2.11 ประกอบ ผลที่ได้จากการเข้ารหัสของช่องสัญญาณ คือ จำนวนข้อมูลเพิ่มขึ้นเป็น 456 บิตจากเดิม 260 บิตในทุก ๆ 20 ms นั่นคืออัตราข้อมูลเพิ่มจาก 13 Kbps เป็น 22.8 Kbps



รูปที่ 2.11 การเข้ารหัสช่องสัญญาณสำหรับสัญญาณเสียงในระบบ GSM

ข้อมูลเหล่านี้มิได้นำไปบรรจุลงในไทม์สล็อตโดยตรงทันทีหากแต่ว่าจะถูกนำไปผ่านกระบวนการอินเตอร์ลีฟก่อนเพื่อลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่มีลักษณะเป็นเบิรสต์ที่มีต่อประสิทธิภาพของวิธีการเข้ารหัสที่ใช้อยู่ โดยปกติแล้วสัญญาณรบกวนแบบเบิรสต์จะทำให้ข้อมูลที่ส่งอยู่มีความผิดพลาดอย่างต่อเนื่องซึ่งเป็นเรื่องค่อนข้างยากที่จะหาวิธีการเข้ารหัสที่สามารถรับมือกับสัญญาณรบกวนแบบนี้โดยตรงได้ ดังนั้นการทำอินเตอร์ลีฟจึงมีประโยชน์เพราะช่วยทำให้การผิดพลาดของข้อมูลกระจัดกระจายออกไปหลาย ๆ เฟรม

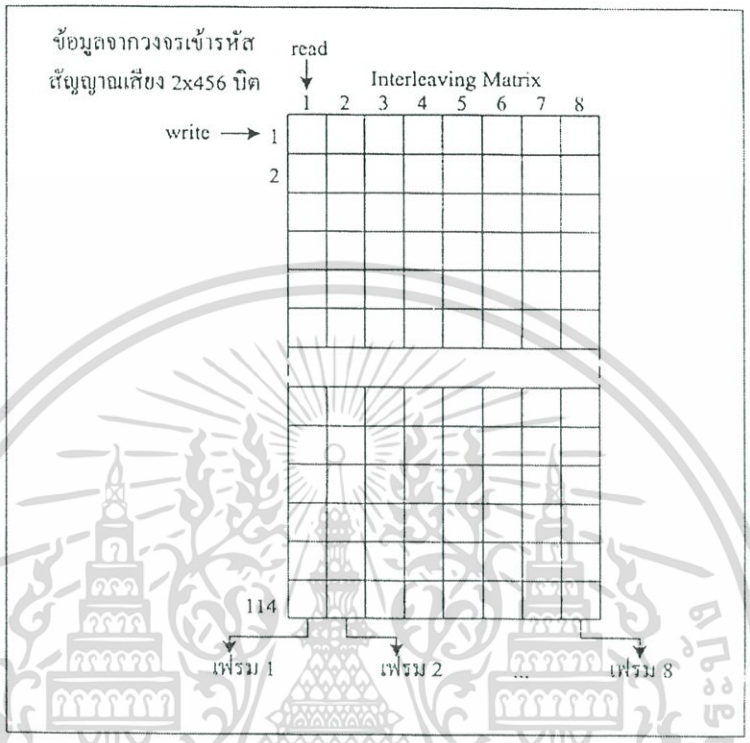
ในการทำอินเตอร์ลีฟนั้นจะต้องรอรับข้อมูลจากวงจรเข้ารหัสสัญญาณเสียงจนครบ 912 บิต หรือทุก ๆ 40 ms ก่อน แล้วจึงนำข้อมูลทั้ง 912 บิตนี้มาแยกและกระจายลงใน 8 เฟรมที่ติดต่อกันโดยวิธีที่แสดงในรูปที่ 2.12 เริ่มโดยการเขียนข้อมูลทั้ง 915 บิตลงในเมทริกซ์ในแนวนอนทีละแถว แถวละ 8 บิต จนครบ 114 แถว จากนั้นก็อ่านข้อมูลเหล่านี้ออกในแนวตั้งแล้วนำไปบรรจุลงในแต่ละเฟรม จะเห็นว่าแต่ละเฟรมก็จะรับไปทั้งหมด 2 x 57 = 114 บิต โดย 57 บิตแรกจะเป็นข้อมูลจากสัญญาณเสียงใน 20 m s แรกและอีก 57 บิตที่เหลือเป็นข้อมูลจากสัญญาณเสียงใน 20 ms ถัดมา เมื่อได้ข้อมูลทั้ง 57 บิตทั้ง 2 ชุดแล้วก็นำมาบรรจุในไทม์สล็อตดังที่เคยแสดงในรูปที่ 2.7 แล้ว

2.4.7.2 การเข้ารหัสช่องสัญญาณของข้อมูลประเภทดาต้า

การเข้ารหัสช่องสัญญาณสำหรับข้อมูลประเภทดาต้าเป็นเรื่องที่สำคัญมากกว่าการเข้ารหัสช่องสัญญาณสำหรับสัญญาณเสียง ดังนั้นจึงต้องอาศัยวิธีการที่ซับซ้อนกว่าเพื่อปกป้องสัญญาณจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผิดพลาดของบิตข้อมูล สำหรับอัตราการส่งข้อมูลที่ต่างกันก็จะมีรายละเอียดในการเข้ารหัสช่องสัญญาณที่แตกต่างกันด้วย

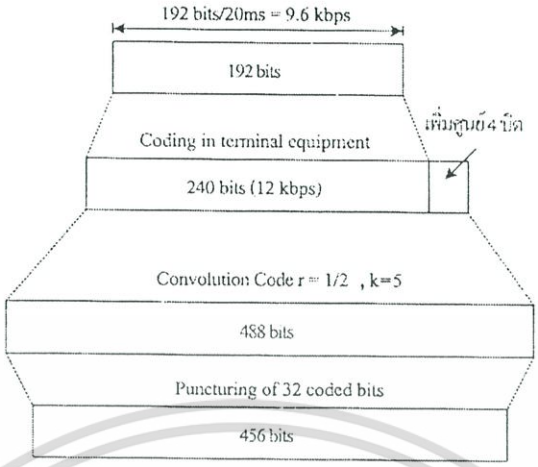


รูปที่ 2.12 การทำอินเตอร์ลีฟสำหรับสัญญาณเสียงในระบบ GSM

1. ข้อมูลดาต้าที่มีอัตราบิต 9.6 Kbps

ข้อมูลที่จะส่งออกที่อัตราบิต 9.6 Kbps (หรือ 192 บิตในเวลา 20 ms) จะต้องทำการเพิ่มบิตเข้าไปเพื่อให้อัตราบิตก่อนการเข้ารหัสช่องสัญญาณเท่ากับ 12 Kbps (หรือ 240 บิตในเวลา 20 ms) ข้อมูลเหล่านี้จะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกเล็ก ๆ ขนาดเท่ากับ 20 ms หรือ 240 บิต เพื่อนำไปเข้ารหัสคอนโวลูชันที่มีอัตราการเข้ารหัสเท่ากับ ½ และมีค่า Constraint Length เท่ากับ 5 เพราะฉะนั้นจะต้องมีการเพิ่มศูนย์อีก 4 บิตก่อนการเข้ารหัสแต่ละบล็อก ผลที่ได้คือมีจำนวนบิตรทั้งหมด 488 บิต ทุก ๆ 20 ms จากนั้นบิตบางส่วนจำนวนทั้งหมด 32 บิตจะถูกตัดออก (Punctured code) และสุดท้ายจะได้ข้อมูลที่มีจำนวน 456 บิตทุก ๆ 20 ms ซึ่งมีค่าอัตราบิตเท่ากับการเข้ารหัสของสัญญาณเสียงดัง รูปที่ 2.13 ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปทำการอินเตอร์ลีฟที่มีช่วงความลึกกว่าการทำอินเตอร์ลีฟในกรณีของสัญญาณเสียง

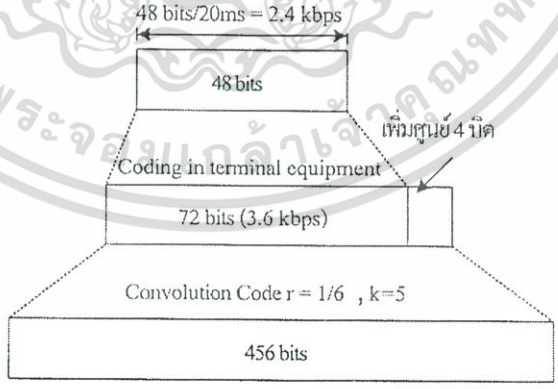
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การเข้ารหัสช่องสัญญาณของข้อมูลประเภทดาต้าที่อัตราบิต 9.6 Kbps

2. ข้อมูลดาต้าที่มีอัตราบิต 2.4 Kbps

ในกรณีของข้อมูลที่จะส่งมีอัตราบิตเท่ากับ 2.4 Kbps (หรือ 48 บิตในเวลา 20 ms) จะต้องทำการเพิ่มบิตเข้าไปเพื่อให้มีอัตราของบิตเป็น 3.6 Kbps (หรือ 72 บิตในเวลา 20 ms) จากนั้นข้อมูลเหล่านี้จะถูกแบ่งออกเป็นบล็อกขนาดเล็ก ๆ เท่ากับ 20 ms หรือ 72 บิต ในข้อมูลแต่ละบล็อกจะเพิ่มข้อมูลศูนย์อีก 4 ตัวต่อท้ายสำหรับการเข้ารหัสคอนโวลูชันที่มีอัตราการเข้ารหัสเท่ากับ 1/6 และมีค่า Constraint length เท่ากับ 5 ผลที่ได้คือมีจำนวนบิตทั้งหมด 456 บิตในช่วงเวลา 20 ms ซึ่งจะได้อัตราของบิตข้อมูลเท่ากันกับการเข้ารหัสช่องสัญญาณในกรณีของสัญญาณเสียง ดังรูปที่ 2.14 จากนั้นก็ทำการอินเตอร์ลีฟโดยใช้วิธีเดียวกันกับของสัญญาณเสียง

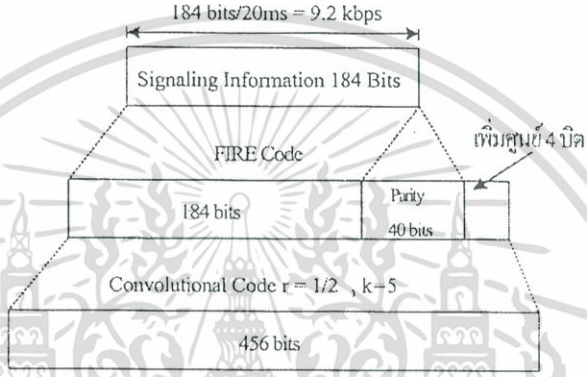


รูปที่ 2.14 การเข้ารหัสช่องสัญญาณของข้อมูลประเภทดาต้าที่อัตราบิด 2.4 Kbps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.7.3 การเข้ารหัสช่องสัญญาณของสัญญาณซิกแนลลิง

สัญญาณซิกแนลลิงเป็นข้อมูลส่วนที่มีความสำคัญมาก เพราะฉะนั้นจะต้องมีการปกป้องข้อมูลจากการผิดพลาดของการส่งเป็นอย่างดีเยี่ยม ชนิดของสัญญาณซิกแนลลิงที่มีการเข้ารหัสช่องสัญญาณซึ่งจะกล่าวถึงต่อไปนี้ประกอบด้วย SACCH, FACCH, BCCH, SDCCH, PCH และ AGCH สัญญาณซิกแนลลิงมีทั้งหมด 184 บิตในทุก ๆ 20 ms ข้อมูลนี้จะนำไปเข้ารหัสที่เรียกว่า FIRE Code ที่มี $G(X) = X^{40} + X^{26} + X^{23} + X^{17} + X^3 + 1$



รูปที่ 2.15 การเข้ารหัสช่องสัญญาณของสัญญาณซิกแนลลิงSACCH, FACCH, BCCH,SDCCH, PCH และ AGCH

ซึ่งมีความสามารถในการตรวจว่ามีบิตใดผิดบ้างและก็ยังสามารถแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูลนั้น ๆ ได้อีกด้วย โดยต้องเพิ่มจำนวนบิตขึ้นทั้งสิ้น 40 บิต จากนั้นเพิ่มข้อมูลศูนย์อีก 4 ตัวต่อท้ายสำหรับการเข้ารหัสคอนโวลูชันที่มีอัตราการเข้ารหัสเท่ากับ ½ และมีค่า Constraint length เท่ากับ 5 ผลที่ได้ คือมีจำนวนบิตทั้งหมด 456 บิตในช่วงเวลา 20 ms ดังรูปที่ 2.15 จากนั้นก็นำข้อมูลเหล่านี้ไปทำการอินเตอร์ลีฟเพื่อลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนแบบเบิรสต์

2.4.8 ขั้นตอนการทำงานของเครื่องโทรศัพท์

ทันทีที่ผู้ใช้เปิดเครื่องโทรศัพท์เพื่อใช้งานเครื่องโทรศัพท์จะไม่ทราบข้อมูลที่เกี่ยวกับระบบโครงข่ายที่จะเริ่มการติดต่อด้วยเลย เช่น จะไม่ทราบถึงตำแหน่งว่าอยู่ภายในขอบข่ายการดูแลของเซลล์ใด ดังนั้นอุปกรณ์โทรศัพท์จะต้องทำการหาข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นทั้งหมดสำหรับการติดต่อกับสถานีฐานของระบบ ในขั้นแรกเครื่องโทรศัพท์จะต้องหาคลื่นความถี่ที่ช่องสัญญาณ BCCH ก่อนเพื่อจะได้อ่านข้อมูลบางส่วนของระบบโทรศัพท์ที่ต้องใช้ในการติดต่อ เนื่องจากในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GSM 900 นั้นมีคลื่นความถี่สำหรับการใช้งานมากถึง 124 ช่อง การที่เครื่องโทรศัพท์จะสแกนคลื่นความถี่ทั้งหมดเพื่อหาช่องสัญญาณ BCCH นั้นจะต้องใช้เวลานานพอสมควร ดังนั้นเพื่อให้การค้นหาช่องสัญญาณมีความรวดเร็วขึ้น ระบบ GSM จึงได้กำหนดให้เครื่องโทรศัพท์ทำการจดบันทึกชุดคลื่นความถี่ของเซลล์ครั้งสุดท้ายที่มีการติดต่อด้วย รวมไปถึงคลื่นความถี่ของเซลล์รอบข้างดังกล่าวด้วย เมื่อมีการเปิดเครื่องโทรศัพท์เพื่อใช้งานตัวเครื่องจะทำการสแกนหาความถี่ที่บันทึกอยู่ในแผ่น SIM ก่อน ตามมาตรฐานของ GSM คลื่นความถี่ที่มีช่องสัญญาณ BCCH อยู่จะต้องส่งออกด้วยกำลังที่สูงสุดตลอดเวลา ไม่อนุญาตให้มีการปรับลดระดับของกำลังสัญญาณเลย

2.4.8.1 การเลือกเซลล์ที่จะติดต่อ

หลังจากที่เครื่องโทรศัพท์ได้ข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการจากสถานีฐานของเซลล์รอบข้างแต่ละแห่งทั้งหมดแล้ว เครื่องโทรศัพท์ก็จะต้องทำการตัดสินใจว่าจะเลือกที่จะติดต่อกับสถานีฐานใดจึงจะมีความเหมาะสมที่สุด ในการเลือกเซลล์นั้นเครื่องโทรศัพท์ก็จะต้องทำการพิจารณาถึงปัจจัยต่าง ๆ หลายปัจจัยดังนี้ ปัจจัยแรกที่ต้องพิจารณา คือกำลังที่เครื่องโทรศัพท์รับได้ ซึ่งมีความสำคัญที่สุด เพราะกำลังของคลื่นสัญญาณของช่อง BCCH สามารถใช้บ่งบอกถึงคุณภาพการรับส่งของช่องสัญญาณได้ ถ้าคลื่นสัญญาณในช่อง BCCH มีกำลังส่งที่แรงที่สุดตลอดเวลา เพราะฉะนั้นช่องสัญญาณอื่น ๆ ที่ใช้ในภายหลังก็จะมีกำลังที่ต่ำกว่าเสมอ

ปัจจัยต่อมาที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ขนาดของกำลังส่งสูงสุดของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ยกตัวอย่างเช่น หากเซลล์ที่ใช้งานอยู่ได้ออกแบบไว้สำหรับเครื่องโทรศัพท์ประเภทที่มีกำลังส่งสูงสุด 20 W (Class 1) การที่เครื่องโทรศัพท์สามารถรับสัญญาณที่มีความแรงพอก็มิได้หมายความว่าสถานีฐานจะต้องสามารถรับสัญญาณได้ดีตามไปด้วยเพราะหากเครื่องโทรศัพท์ที่ใช้มีกำลังส่งสูงสุดเพียง 0.8 W (Class 5) กำลังของสัญญาณที่รับได้ที่สถานีฐานก็อาจจะมีขนาดที่อ่อนมากได้

ปัจจัยสุดท้ายที่จะต้องนำมาพิจารณาด้วย คือ ตำแหน่งหรือบริเวณการใช้งานของเครื่องโทรศัพท์ ปัจจัยนี้มิได้มีผลกระทบต่อคุณภาพการรับส่งสัญญาณเลย แต่ก็มีส่วนช่วยลดปริมาณการรับส่งสัญญาณควบคุมที่เครื่องโทรศัพท์ใช้ในการรายงานถึงการเปลี่ยนตำแหน่งหรือบริเวณการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีที่เครื่องโทรศัพท์มีการใช้งานอยู่ในบริเวณรอยต่อของเซลล์

2.4.8.2 การซิงโครไนซ์

ในการที่เครื่องโทรศัพท์จะสามารถซิงโครไนซ์การทำงานให้เข้ากับส่วนของสถานีฐานได้นั้น ในช่วงต้นของการติดต่อเครื่องโทรศัพท์จะต้องปรับความถี่ของคลื่นพาห์ให้ตรงกับความถี่ของสถานีฐานก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยดูจาก FCB ที่ส่งออกโดยสถานีฐานของคลื่นพาห์ BCCH จากนั้นเครื่องโทรศัพท์จะต้องปรับจังหวะการรับส่งข้อมูลในเชิงเวลาให้เข้ากันกับส่วนของสถานีฐานด้วย ซึ่งส่วนข้อมูลตรงนี้สามารถอ่านได้จาก SB (Synchronization Burst) วงจรที่มีใช้ในระบบ GSM เพื่อซิงโครไนซ์จังหวะเวลาระหว่างเครื่องโทรศัพท์และส่วนของสถานีฐานประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

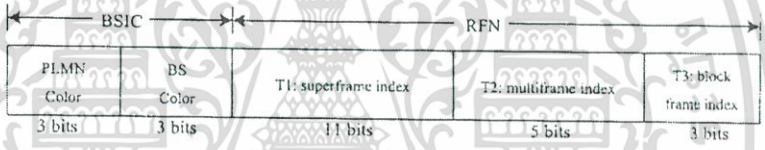
QN = 0-624 : Quarter-bit number

BN = 0-156 : bit number

TN = 0-7 : timeslot number

FN = 0-(26x51x2048) : frame number

ทันทีที่เครื่องโทรศัพท์ได้รับสัญญาณจาก SB ก็จะทำการตั้งค่าของวงจรนับภายในเครื่องให้ตรงกับสถานีฐาน โดยจะอ่านค่าของ QN ได้จาก Extended Training Sequence ที่มีขนาด 64 บิต ซึ่งบรรจุอยู่ใน SB จากนั้นตั้งค่าเริ่มต้นของ TN = 0 และท้ายสุดก็ทำการถอดรหัสค่า Encrypted Sync Bits จำนวน 78 บิตเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิงโครไนซ์จำนวน 25 บิต ซึ่งมีโครงสร้างและรายละเอียดดังที่แสดงในรูปที่ 2.16 ข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ BSIC และ RFN ส่วน BSIC (Base Station Identifier Code) จำนวน 6 บิตมีหน้าที่ในการบ่งบอกถึงหมายเลขประจำตัวของสถานีฐานที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กำลังติดต่ออยู่ สำหรับส่วน RFN (Reduced TDMA Frame Number) อีก 19 บิตมีไว้สำหรับระบุหมายเลขของ TDMA Frame โดยหมายเลขที่ RFN สามารถบ่งได้มีข้อจำกัดอยู่ระหว่าง 0 ถึง 26x51x2048-1



รูปที่ 2.16 โครงสร้างของข้อมูลที่บรรจุใน SCH

2.4.8.3 การเข้าใช้ช่องสัญญาณแบบแรนดอม (Random Access)

ในการติดต่อครั้งแรกของเครื่องโทรศัพท์ไปที่สถานีฐานแต่ละครั้งนั้นจะมีปัญหาอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณา คือ จังหวะการเข้าใช้ช่องสัญญาณของเครื่องโทรศัพท์ในไทม์สล็อต เพราะในช่วงเวลานี้โครงข่ายยังมิได้มีการจัดสรรช่องสัญญาณแต่ละไทม์สล็อตที่ชัดเจนให้เครื่องโทรศัพท์ใช้ ดังนั้นจึงมีโอกาสที่เครื่องโทรศัพท์มากกว่าหนึ่งเครื่องส่งสัญญาณการขอติดต่อออกพร้อมกันลงบนไทม์สล็อตเดียวกัน ผลที่เกิดขึ้นก็คือสัญญาณเหล่านี้เกิดการชนกัน สำหรับในระบบ GSM นั้นได้กำหนดสัญญาณเฉพาะสำหรับการแสดงความต้องการโทรศัพท์ออก คือ RACH ซึ่งได้มีการอธิบายถึงโครงสร้างไว้ในส่วนก่อนหน้านี้แล้ว เนื่องจากโครงสร้างของช่องสัญญาณ RACH มีลักษณะเป็นไทม์สล็อตที่แน่นอน ดังนั้นการชนกันของสัญญาณจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ จะเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในแต่ละไทม์สล็อตแยกจากกัน สมมติว่า ณ เวลาที่ไทม์สล็อตหนึ่งมีเครื่องโทรศัพท์จำนวนสองเครื่องส่งสัญญาณออกพร้อมกัน จะเกิดเหตุการณ์ได้ใน 2 ลักษณะ คือ สถานีฐานสามารถรับสัญญาณจากเครื่องโทรศัพท์เครื่องหนึ่งได้ถูกต้องเพราะระดับสัญญาณที่รับได้มีกำลังสูงกว่าสัญญาณจากอีกเครื่องหนึ่งมาก หรือสถานีฐานไม่สามารถรับสัญญาณที่ถูกต้องจากเครื่องใดเครื่องหนึ่งเลย สำหรับในกรณีหลังเครื่องโทรศัพท์แต่ละเครื่องจะต้องทำการส่งสัญญาณชุดเดิมใหม่อีกครั้ง ในการที่จะส่งสัญญาใหม่อีกครั้งนั้นจะต้องมีการเตรียมมาตรการที่สามารถป้องกันมิให้เกิดการชนกันของสัญญาณอีก สำหรับในระบบ GSM นั้นได้นำวิธีที่เรียกว่า Slotted Aloha มาใช้ เมื่อใดที่มีการชนกันของสัญญาณขึ้นใหม่อีกไม่สิ้นสุดดังนั้นในสถานการณ์ดังกล่าวนี้ เครื่องโ?รศัพท์แต่ละเครื่องจะหน่วงเวลาการส่งออกไปเป็นช่วงเวลาช่วงหนึ่ง โดยขนาดของช่วงเวลาที่หน่วงไว้นี้ได้มาจากการแรนดอมค่าขึ้นม ด้วยเหตุนี้โอกาสที่จะเกิดการชนกันจึงมีขนาดลดลงอย่างมาก

2.4.8.4 การระบุตำแหน่งพื้นที่ (Location Areas)

เนื่องจากโดยปกติการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่มักจะมีการเปลี่ยนตำแหน่งของการใช้งานอยู่เสมอ ๆ ดังนั้นการค้นหาตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์จึงเป็นเรื่องที่จำเป็นและมีความสำคัญอย่างมากในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยทั่วไปแล้วเราสามารถแบ่งวิธีการค้นหาตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์ออกได้เป็น 2 วิธี วิธีแรกระบบโทรศัพท์จะไม่ทำการเก็บข้อมูลใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์เลย และเมื่อใดที่ระบบโทรศัพท์ต้องการจะติดต่อด้วย เช่น มีการโทรศัพท์เข้าจากผู้ใช้อื่น ระบบโทรศัพท์ก็จะส่งคำสั่งให้สถานีฐานทั้งหมดทำการเพจ (Page) เพื่อค้นหาตำแหน่งของเครื่องโทรศัพที สังเกตว่าวิธีนี้จะไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้กับโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้าง เช่น พื้นที่ทั้งประเทศหรือหลาย ๆ ประเทศ เพราะจะมีการส่งสัญญาณเพจออกไปเป็นจำนวนมาก ส วนวิธีที่สองระบบจะทำการเก็บข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งหรือบริเวณที่เครื่องโทรศัพท์ที่มีการใช้งานอยู่อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อใดที่เครื่องโทรศัพท์พบว่าได้เคลื่อนที่ออกจากบริเวณการใช้งานเดิมเข้าสู่บริเวณการใช้งานในบริเวณใหม่ เครื่องโทรศัพท์จะต้องรายงานถึงการเปลี่ยนตำแหน่งหรือบริเวณที่ใช้งานดังกล่าวนี้ บริเวณการใช้งานบริเวณหนึ่งอาจจะมีขนาดที่แตกต่างกันไปตามที่ต้องการ เช่น อาจจะเป็นพื้นที่ของเซลล์หนึ่งเซลล์ สำหรับวิธีนี้เมื่อใดที่ระบบโทรศัพท์ต้องการจะติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์ ก็สามารถเพจหรือค้นหาเฉพาะในบริเวณที่เครื่องโทรศัพท์อยู่ ซึ่งช่วยให้จำนวนสัญญาณซิกแนลลิงที่ต้องใช้ในการเพจหาเครื่องโทรศัพท์มีปริมาณที่ลดลงมาก หากแต่ข้อเสียของวิธีนี้ คือ ปริมาณสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์ต้องส่งไปบอกระบบถึงการเปลี่ยนบริเวณการใช้งานจะมีค่อนข้างมาก หากมีการแบ่งบริเวณพื้นที่ที่มีขนาดเล็กเกินไป เช่น แบ่งขนาดของพื้นที่เท่ากับขนาดของเซลล์หนึ่งเซลล์ด้วยเหตุนี้ระบบ GSM จึงใช้วิธีที่สองโดยกำหนดให้บริเวณพื้นที่แต่ละส่วนจะมีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครอบคลุมเซลล์ จำนวนหลายเซลล์ เพื่อลดปริมาณสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์จะต้องส่ง โดยที่ขอบเขตของพื้นที่แต่ละแห่งจะเรียกว่า Location Area

2.4.8.5 การแฮนด์โอเวอร์ (Handover)

การทำแฮนด์โอเวอร์จะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องโทรศัพท์มีการเคลื่อนออกห่างจากขอบเขตการดูแลของเซลล์ที่ติดต่ออยู่ ส่งผลให้การติดต่อสื่อสารระหว่างทั้งสองฝ่ายมีคุณภาพที่ต่ำลงเรื่อย ๆ และเมื่อเครื่องโทรศัพท์เริ่มเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณของเซลล์ใหม่ซึ่งโดยปกติแล้วจะสามารถให้คุณภาพการรับส่งคุณภาพที่ดีกว่างของเซลล์เดิม ระบบโทรศัพท์ก็จะทำการโอนย้ายการติดต่อไปให้กับสถานีฐานของเซลล์ใหม่เพื่อให้การสนทนาของผู้ใช้มีความต่อเนื่องและมีคุณภาพในระดับที่ดีตลอดช่วงเวลาการสนทนา กระบวนการดังกล่าวเรียกว่า การทำแฮนด์โอเวอร์ สำหรับระบบ GSM เครื่องโทรศัพท์มีส่วนสำคัญในกระบวนการแฮนด์โอเวอร์ค่อนข้างมาก โดยระบบมอบหมายให้เครื่องโทรศัพท์ทำหน้าที่ในการตรวจวัดระดับสัญญาณที่รับได้จากทั้งเซลล์ที่ติดต่ออยู่ด้วยและสัญญาณที่รับได้จากเซลล์รอบ ๆ จากนั้นจะรายงานผลที่ได้ไปให้สถานีฐานเพื่อใช้ในการตัดสินใจการทำแฮนด์โอเวอร์ต่อไป การแฮนด์โอเวอร์ในลักษณะนี้มีชื่อเรียกว่า MAHO (Mobile Assisted Handover)

2.4.9 หมายเลขประจำตัวต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบ GSM

หมายเลขประจำตัวต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบ GSM จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วนดังนี้

2.4.9.1 หมายเลข IMSI (International Mobile Subscriber Identity)

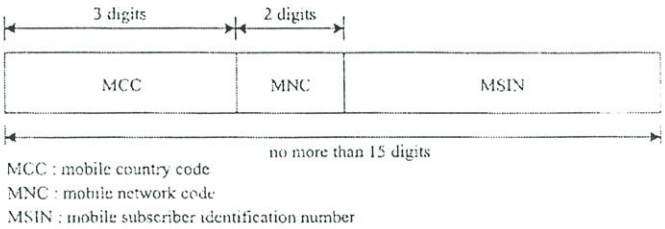
IMSI คือ หมายเลขประจำตัวของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM หมายเลขดังกล่าวนี้จะบรรจุอยู่ในแผ่น SIM โดยหมายเลข IMSI จะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละแผ่น SIM ทั่วโลกโครงสร้างของ IMSI ประกอบด้วย 3 ส่วนดังรูปที่ 2.17 คือ

1. MCC (Mobile Country Code) ขนาด 3 digits มีไว้ใช้ในการบ่งบอกถึงประเทศที่ผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์เป็นสมาชิกอยู่ สำหรับค่า MCC ของประเทสไทยคือ 520

2. MNC (Mobile Network Code) ขนาด 2 digits มีไว้สำหรับใช้บอกถึงชื่อของระบบโครงข่ายที่ให้บริการภายในประเทศหนึ่ง ๆ สำหรับประเทศไทยมีบริษัทที่ให้บริการระบบ GSM อยู่ 2 บริษัท คือ AIS และ World phone 1800 ในกรณีของ AIS ใช้ค่า MNC เท่ากับ 01 ส่วนของ World phone 1800 ใช้ค่า MNC เท่ากับ 18

3. MSIN (Mobile Subscriber Identification Number) มีไว้สำหรับบ่งบอกถึงตัวสมาชิกผู้ใช้ โดยรวมแล้วค่า IMSI จะต้องมีความยาวไม่เกิน 15 digits

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MCC : mobile country code

MNC : mobile network code

MSIN : mobile subscriber identification number

รูปที่ 2.17 โครงสร้างของ IMSI

2.4.9.2 หมายเลข MISISDN (Mobile Subscriber ISDN Number)

MSISDN คือ หมายเลขโทรศัพท์ที่ผู้ใช้จะต้องทราบเพื่อใช้ในการหมุนหมายเลขสำหรับการโทรติดต่อ หมายเลข MSISDN ประกอบด้วย CC (Country Code), NDC (National Destination Code) และ SN (Subscriber Number) ส่วนของ CC มีไว้สำหรับบ่งถึงประเทศที่ต้องการติดต่อด้วยหมายเลขนี้มีความยาวไม่แน่นอน เช่น ประเทศไทยใช้ 66 ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้ 1 และสหราชอาณาจักรใช้ 44 เป็นต้น การกำหนดหมายเลข CC เป็นหน้าที่ขององค์กรระหว่างประเทศ CCITT ส่วนของ NDC มีไว้สำหรับบ่งถึงพื้นที่ย่อยภายในประเทศ และสุดท้ายส่วนของ SN ก็คือหมายเลขโทรศัพท์ของผู้ใช้ที่มักจะติดป้ายอยู่บนเครื่อง หมายเลข NDC และ SN จะได้รับการกำหนดโดยองค์กรภายในประเทศ

2.4.9.3 หมายเลข TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)

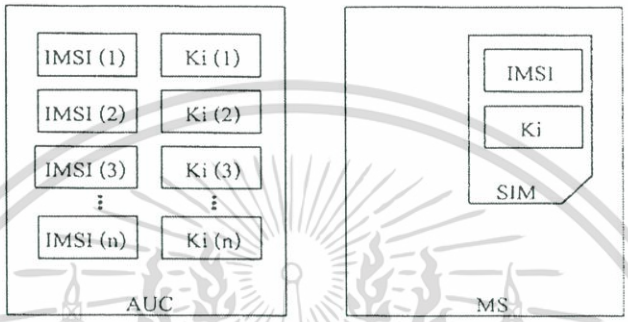
TMSI คือหมายเลขอีกชุดหนึ่งมีค่าต่างไปจาก IMSI มีไว้สำหรับใช้ในการบ่งบอกถึงเครื่องโทรศัพท์ในขณะที่กำลังติดต่อยู่กับสถานีฐาน การนำหมายเลข TMSI มาแทนการใช้หมายเลข IMSI ในระหว่างที่มีการติดต่อสื่อสารผ่านอากาศ ก็เพื่อปองอ้กงันการดักจับหมายเลข IMSI

2.4.9.4 กระบวนการ Authentication และ Ciphering

Authentication คือ กรรมวิธีในการป้องกันการแอบใช้บริการของระบบของผู้ที่มิได้เป็นสมาชิก ในระบบ GSM ก่อนที่เครื่องโทรศัพท์จะสามารถโทรออกหรือรับสายเรียกเข้าได้จะต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบว่าเป็นเครื่องที่มีสิทธิในการใช้บริการหรือเป็นสมาชิกที่ถูกต้องหรือไม่ ในการอธิบายถึงกระบวนการทำ Authentication ภายในระบบ GSM จำเป็นที่เราต้องกล่าวถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

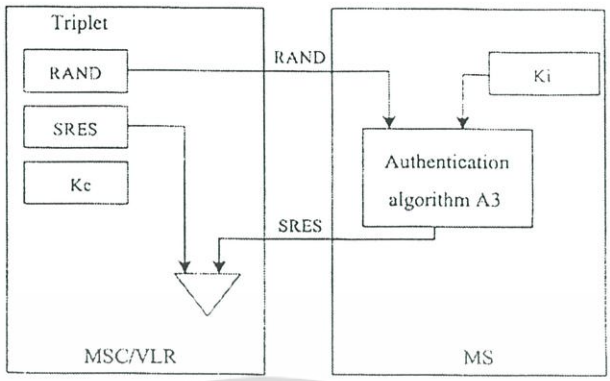
พารามิเตอร์หรือตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องก่อน แผ่น SIM ที่บรรจุอยู่ในเครื่องโทรศัพท์ทุกเครื่องจะมีการบันทึกค่า 2 ค่าที่กำหนดขึ้นจากบริษัทผู้ให้บริการ คือ IMSI และ Ki โดยค่าทั้งสองจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงและจะแตกต่างกันไปในเครื่องโทรศัพท์แต่ละเครื่อง สำหรับส่วนของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะมีฐานข้อมูลที่เก็บค่าทั้งสอง IMSI และ Ki ของเครื่องโทรศัพท์ทั้งหมดที่เป็นสมาชิกไว้ใน AUC (Authentication Center) ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 โครงสร้างการเก็บข้อมูลของ AUC และ MS

เมื่อระบบจะต้องทำการ Authentication ให้กับเครื่องโทรศัพท์เครื่องหนึ่ง ก็จะอ่านรหัสลับ Ki ของเครื่องโทรศัพท์นั้นจากฐานข้อมูลใน AUC และกำเนิดหายเลขแรนดอมขึ้นมาค่าหนึ่งที่เรียกว่า RAND โดยมีความยาวเท่ากับ 128 บิต จากนั้นนำค่าทั้งสองไปป้อนเข้าวงจรที่ประมวลค่าทั้งสองตามอัลกอริทึม A3 และผลที่ได้คือ SRES (Signed Response) สำหรับในส่งของเครื่องโทรศัพท์ก็จะมีการเก็บรหัสลับ Ki ของตนเองและก็มีอัลกอริทึม A3 เช่นกัน เครื่องโทรศัพท์จะรอรับค่า RAND จากโครงข่ายเพื่อนำไปประมวลผลด้วยวิธีการเดียวกันคืออาศัยรหัสลับ Ki กับอัลกอริทึม A3 ผลที่ได้คือ SRES ซึ่งจะถูกส่งกลับไปที่โครงข่ายเพื่อเปรียบเทียบกับค่า SRES ที่คำนวณได้ที่ส่วนของโครงข่ายเอง หากว่าค่าทั้งสองตรงกันก็จะอนุญาตให้เครื่องโทรศัพท์เข้าใช้ระบบได้ ดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 กระบวนการทำ Authentication

สำหรับการทำ Ciphering ในระบบ GSM นั้น ทางโครงข่ายจะอาศัยค่า RAND และ Ki ชุดเดียวกันกับที่ใช้ในการทำ Authentication แต่จะป้อนค่าทั้งสองเข้าวงจรประมวลผลด้วยอัลกอริทึม A8 ผลที่ได้คือรหัส Kc ซึ่งจะนำไปใช้ร่วมกับหมายเลขเฟรมที่กำลังส่งอยู่ โดยนำไปป้อนเข้าวงจรประมวลผลด้วยอัลกอริทึม A5 ผลที่ได้จะนำไปใช้ในการเข้ารหัสข้อมูลที่จะส่ง เนื่องจากในการทำ Ciphering มีการนำหมายเลขของเฟรมที่กำลังส่งอยู่มาเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการด้วย ทำให้การดักฟังจากผู้ไม่เกี่ยวข้องกระทำได้ยากมากขึ้น

2.4.10 การมอดูเลทสัญญาณ

ระบบ GSM อาศัยการมอดูเลทแบบ GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) ซึ่งสามารถส่งสัญญาณดิจิตอลด้วยอัตรา 270.833 Kbps โดยใช้แบนด์วิดธ์ขนาด 200 kHz ดังนั้นค่าประสิทธิภาพการใช้แบนด์วิดธ์มีค่าเท่ากับ 270.833/200 = 1.35 b/s/Hz ในแบนด์วิดธ์ขนาด 200 KHz นี้สามารถส่งข้อมูลได้ทั้งหมด 8 ช่องสัญญาณ ดังนั้นสเปกตรัมที่มีอยู่ทั้งหมด 2x25 MHz จึงสามารถใช้ส่งข้อมูลได้ทั้งหมด 8 x 124 = 992 ช่องสัญญาณ ซึ่งมิใช่ค่าที่สูงนักเพราะระบบอนาล็อกก็สามารถให้จำนวนช่องสัญญาณให้ใกล้เคียงกันด้วยขนาดของแบนด์วิดธ์ที่เท่ากัน ในแง่มุมนี้ระบบดิจิตอลที่ GSM มิได้ดีกว่าระบบอนาล็อกที่มีการใช้งานอยู่เดิม หากแต่ว่าระบบ GSM สามารถทำงานได้ที่ค่า Cochannel-interference (C/I) ประมาณ 10-12 dB ซึ่งต่ำกว่าของระบบอนาล็อกถึง 6 dB นั่นหมายถึงว่าเราสามารถใช้ความถี่ชุดเดียวกันมาใช้ในบริเวณอื่นที่อยู่ใกล้กันได้มากขึ้น ส่งผลให้ระบบมีความจุเพิ่มขึ้นและรองรับจำนวนผู้ใช้โทรศัพท์ได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น

3.1 หลักการแพร่กระจายคลื่น

การสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่จะใช้การสื่อสารทางคลื่นวิทยุซึ่งใช้การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในอากาศ ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะเป็นค่าส่วนกลับกำลังสองกับระยะทางตามทฤษฎีของ Inverse-square law ถ้ากำหนดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นลักษณะรอบทิศทาง โดยเครื่องส่งมีกำลังงานที่ส่งออกไป P_t การแพร่กระจายรอบทิศทางสามารถพิจารณาเป็นลักษณะของวงกลมรอบๆ แหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีรัศมีเป็น d_s เป็นค่าดิฟเฟอร์เร้นท์เชียลของพื้นผิว (Differential of surface) จึงทำให้กำลังงานที่จุดใดๆ สามารถเทียบได้กับพื้นที่ส่วนเล็กๆ (A) ของพื้นผิวทรงกลม ค่าความหนาแน่นของกำลังงานจะเท่ากับ

$$P_t = P_r(\theta, \phi)\, d_s \tag{3.1}$$

โดยที่ Pr เป็นกำลังที่เครื่องรับได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งมีความสัมพันธ์รูปแบบปกติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำหนดโดย

$$\mathrm{p}(\theta, \phi) = \left[\frac{E^2_{\theta n}(\theta, \phi) + E^2_{\phi n}}{Zo} \right] \tag{3.2}$$

เมื่อ

$$E\theta n(\theta, \phi) = \frac{E\theta(\theta, \phi)}{E\theta(\theta, \phi)\max} \tag{3.3}$$

$$E\phi n(\theta, \phi) = \frac{E\phi(\theta, \phi)}{E\phi(\theta, \phi)\max} \tag{3.4}$$

Zo เป็นค่าความต้านทานมีค่าเท่ากับ 377.752 Ω

$E\theta(\theta, \phi)$ Max และ $E\phi(\theta, \phi)$ คือ ค่าสูงสุดของสนามไฟฟ้าในมุมของ θ และ ϕ

ถ้ากำหนดให้สายอากาศเป็นแบบไอโซโทรปิค และพื้นผิวการแพร่กระจายคลื่นเป็นทรงกลมดังแสดงในรูปที่ 3.1 ดังนั้นกำลังที่เครื่องรับได้รับ

$$P_t = r^2 \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} P_r(\theta, \phi) \sin\theta \, d\theta \, d\phi \tag{3.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_t = P_r r^2 \int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} P_r(\theta,\phi)\sin\theta d\theta d\phi$$

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi_{r^2}} \tag{3.6}$$

โดย 4π r^2 คือ พื้นที่ของการกระจายคลื่นซึ่งเป็นรูปวงกลมและมีรัศมี r

สมมุติให้ G_t คือ อัตราการขยายกำลังของสายอากาศจากเครื่องส่ง ดังนั้นความหนาแน่นของกำลังงานในทิศทางของการแพร่กระจายจะได้เป็น

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4_{\pi r^2}} \tag{3.7}$$

ส่วนทางด้านสายอากาศของเครื่องรับก็จะติดตั้งในทิศทางที่สามารถรับสัญญาณได้สูงสุดสมมุติให้ P_r คือ กำลังงานที่สายอากาศของเครื่องรับได้รับ ในกรณีเช่นนี้สายอากาศจะใช้พื้นที่เอฟแฟคทีฟ A_{eff} ในการรับสัญญาณ ดังนั้นค่ากำลังงานที่รับได้จะมีค่าเป็น

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4_{\pi r^2}} .Aeff \tag{3.8}$$

ในสายอากาศใด ๆ ก็ตาม อัตราส่วนของการขยายสูงสุดต่อพื้นที่เอฟแฟคทีฟ คือ

$$\frac{Aeff}{G_r} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \tag{3.9}$$

กำหนดให้ λ คือ ความยาวคลื่นของคลื่นที่แพร่กระจาย ถ้า G_r คือ อัตราการขยายกำลังของสายอากาศรับได้ดังสมการการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของฟรีอิส (Friis free-space equation) ดังนี้

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 r^2 L} \tag{3.10}$$

โดย P_t เป็นกำลังงานในการส่งสัญญาณ

P_r เป็นกำลังงานในการรับสัญญาณ

G_t เป็นแกนของสายอากาศส่ง

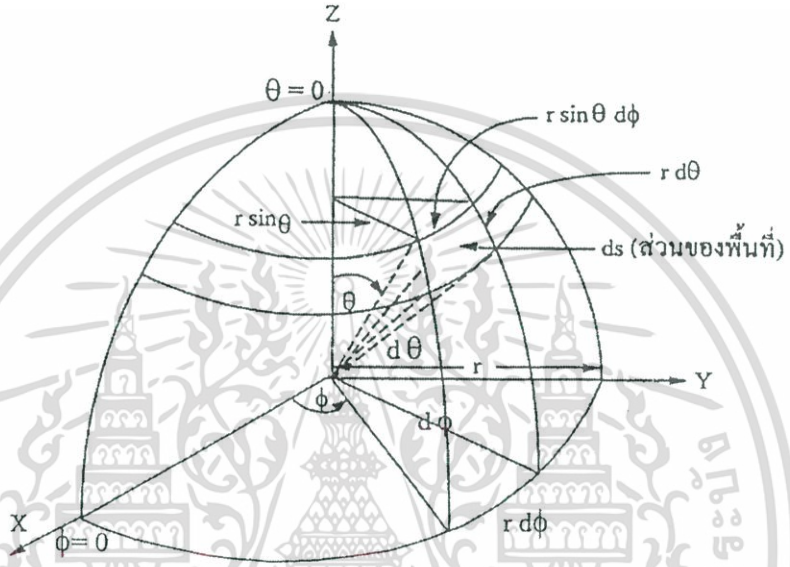
G_r เป็นแกนของสายอากาศรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

r เป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งในหน่วยกิโลเมตร

L เป็นการลดทอนของระบบ *(L>1)*

และ λ เป็นความยาวคลื่นในหน่วยเมตร



รูปที่ 3.1 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิค

ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังงานที่รับได้ จะแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งยกกำลังสองและแปรผกผันกับความถี่ยกกำลังสองอีกด้วย ซึ่งถ้าระยะทางหรือความถี่เพิ่มขึ้น 2 เท่า จะทำให้กำลังงานที่ได้รับน้อยลง 4 เท่าจากค่าเดิม โดยสมการการลดทองเนื่องจากระยะทาง (Path Loss) ในหน่วยเดซิเบล กำหนดได้โดย

$$L = -10 \log \frac{p_r}{p_t} = -10 \log \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 r^2 L} \qquad (3.11)$$

$$L(dB) = G_t(dB) + G_r(dB) - (32.45 + 2 \log r + 20 \log f) \qquad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

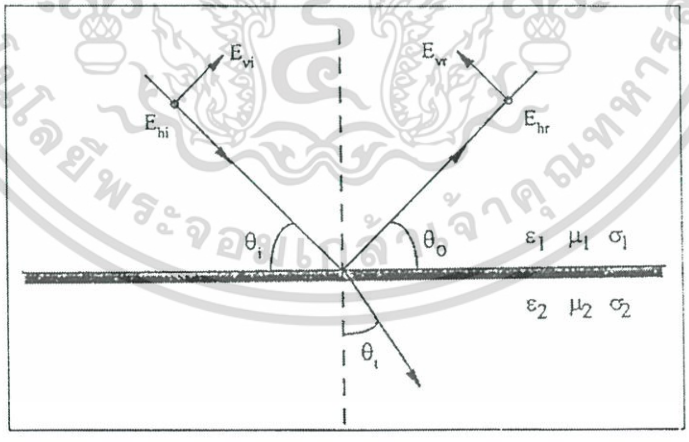
ถ้าอัตราส่วนของกำลังงานที่รับได้กับกำลังงานที่ที่ (โดยใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิค ค่าอัตราการขยายกำลังของ Gr และ Gt จะมีค่าเท่ากับ 1) และแทนค่าความสัมพันธ์ $\lambda = \frac{c}{f}$ (โดย c คือความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s) จะได้สมการการลดทอนเป็น

$$L(dB) = 32.45 + 20 \log r + 20 \log f \qquad (3.13)$$

3.2 กลไกพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น (Basic propagation Mechanisms)

3.2.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection)

การสะท้อนของคลื่นจะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบบนสิ่งกีดขวางที่มีมิติกว้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของสัญญาณ โดยการสะท้อนจากพื้นผิวของโลกและจากสิ่งก่อสร้าง หรือคลื่นที่สะท้อนมาจากผนัง ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นที่อุปกรณ์รับสัญญาณก็ได้ เมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบตัวกลางสองตัวที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกแตกต่างกัน คลื่นส่วนหนึ่งจะมีการสะท้อนกลับและคลื่นอีกส่วนหนึ่งจะเคลื่อนที่ทะลุผ่านไป สำหรับในกรณีที่คลื่นตกกระทบอากาศปกติบนผิวของตัวนำไฟฟ้า คลื่นจะมีการสะท้อนกลับโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน ถ้าคลื่นตกกระทบบนผิวของฉนวนไฟฟ้า พลังงานส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านเข้าไปในผิว พลังงานอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับและจะไม่มีการสูญเสียของพลังงานในการดูดกลืน ซึ่งความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนแสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเฟรสเนล (Fresnal reflection coefficient : Γ)



รูปที่ 3.2 การสะท้อนของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.2 จะแสดงลักษณะการตกกระทบและสะท้อนของคลื่น โดยตัวห้อย V และ h จะหมายถึงการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ และตัวห้อย I และ r จะหมายถึงสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบและสะท้อนตามลำดับ ค่าเพอมิตติวิตี้ ค่าความแทรกซึม และสภาพการนำของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 จะแทนด้วย $\varepsilon_1, \mu_1, \sigma_1$ และ $\varepsilon_2, \mu_2, \sigma_2$ ตามลำดับ ในกรณีที่ตัวกลางที่ 1 เป็นอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสำหรับการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวนอน จะแสดงได้ดังสมการที่ (3.14) และสมการที่ (3.15)

$$\Gamma_v = \frac{E_{vr}}{E_{vi}} = \frac{-\varepsilon_r \sin\theta_i - \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_i}}{\varepsilon_r \sin\theta_i + \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_i}} \tag{3.14}$$

$$\Gamma_h = \frac{E_{hr}}{E_{hi}} = \frac{\sin\theta_i - \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_i}}{\sin\theta_i + \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_i}} \tag{3.15}$$

เมื่อ ε_r เป็นค่าเพอมิตติวิตี้ที่สัมพันธ์กันระหว่างตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 และ θ_i เป็นมุมตกกระทบที่ทำให้สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน ** มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะเรียกมุมนี้ว่า มุมของบริวส์เตอร์ (Brewster angle) โดยสามารถเขียนสมการของค่ามุมบริวส์เตอร์ ได้ดังสมการที่ (3.16)

$$\sin\theta = \frac{\sqrt{\varepsilon_r - 1}}{\sqrt{\varepsilon_{r^2} - 1}} \tag{3.16}$$

การแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศส่งและตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตาจะเป็นไปตามสมการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของฟรีอิส ซึ่งเป็นการพิจารณาคลื่นที่เดินทางผ่านสูญญากาศเท่านั้น แต่สำหรับรูปแบบการสะท้อนของคลื่นบนพื้นดินในรูปที่ 3.3 จะเป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่พิจารณาถึงคลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นที่สะท้อนจากพื้นดิน (Two-ray model) โดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในลักษณะนี้ จะสมมุติให้ความยาวคลื่นมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งกีดขวางทั้งหมด ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งมีค่าน้อย และสมมุตให้ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ ค่าของสนามไฟฟ้าที่รับได้ทั้งหมด จะเป็นผลรวมระหว่างสนามไฟฟ้าในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา (E_{LOS}) หรือสนามไฟฟ้าที่ได้รับการคลื่นตรงและค่าของสนามไฟฟ้าที่สะท้อนจากพื้นดิน (E_g) ที่ระยะทาง d_0 จากรูปกำหนดให้ h_t เป็นความสูงของสายอากาศส่ง และ h_r เป็นความสูงของสายอากาศรับ ดังนั้นจากกฎของการสะท้อนจะแสดงได้ดังสมการที่ (3.17)

$$\theta_i = \theta_0 \text{ และ } E_0 = \Gamma_{Ei} \tag{3.17}$$

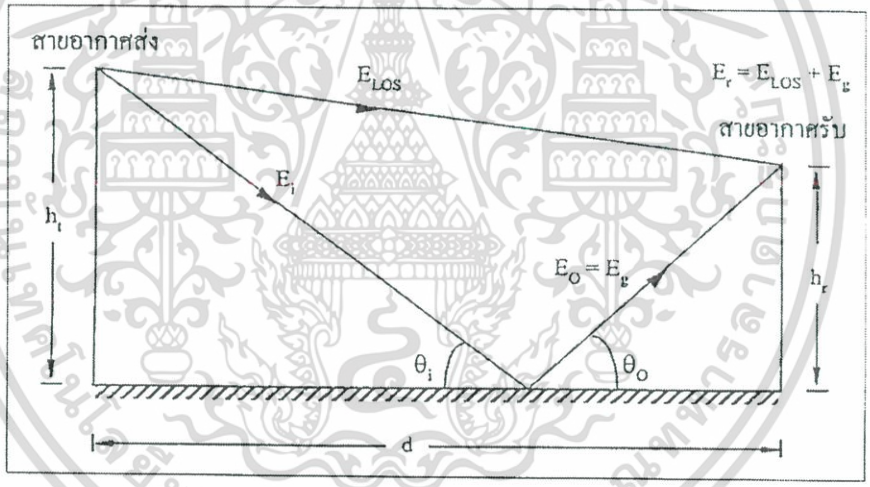
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Γ เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นดิน พิจารณาในกรณีที่ระยะทางระหว่างสายอากาศส่ง และสายอากาศรับมีระยะทางไกลมาก ดังนั้นจึงสามารถประมาณค่ามุมตกกระทบ ให้มีค่าเป็น 0 องศา และคลื่นสะท้อนจะมีขนาดเท่ากับคลื่นตกกระทบ แต่จะมีความต่างเฟสเป็น 180 องศา ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการแสดงค่าสนามไฟฟ้าทั้งหมดได้ดังสมการที่ (3.18)

$$\left|E_r(d)\right| = \frac{2_{Elosd_0}}{d}\sin\frac{\theta\Delta}{2} \tag{3.18}$$

โดยค่าความต่างเฟส ($\theta\Delta$) จะสัมพันธ์กับค่าความต่างของเส้นทาง (Δ) ระหว่างเส้นทางของคลื่นตรงและคลื่นสะท้อน ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3.19)

$$\theta\Delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} \tag{3.19}$$



รูปที่ 3.3 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก

จากรูปที่ 3.3 ถ้าระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (d) มีค่ามาก จะสามารถประมาณได้ดังสมการที่ (3.20)

$$\sin\frac{\theta\Delta}{2} \approx \frac{\theta\Delta}{2} = \frac{2_\pi h_t h_r}{\lambda d} \tag{3.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $\frac{\theta\Delta}{2}$ มีค่าน้อยมากๆ และค่าสนามแม่เหล็กที่รับได้ในหน่วยโวลท์ต่อเมตร จะเป็น

$$E_r(d) \approx 2_{E_{LOS}} \frac{2_\pi h_t h_r d_0}{\lambda d^2} = \frac{k}{d^2} \qquad (3.21)$$

โดย k เป็นค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับ E_{do} ซึ่งเป็นค่าสนามไฟฟ้าที่วัดได้ที่ระยะ do จากสายอากาศส่ง ค่าพลังงานที่วัดได้ที่ตำแหน่ง d จะแปรผันตรงกับค่าสนามไฟฟ้ายกกำลังสอง

ถ้าระยะห่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับมีค่ามากๆ พลังงานที่ได้รับก็จะมีค่าลดลงด้วยอัตรา 40 dB/decade โดยค่าพลังงานที่ได้รับ และค่าของการลดทอนของสัญญาณจะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณจากพื้นดินในหน่วยเดซิเบล ได้ดังสมการที่ (3.22)

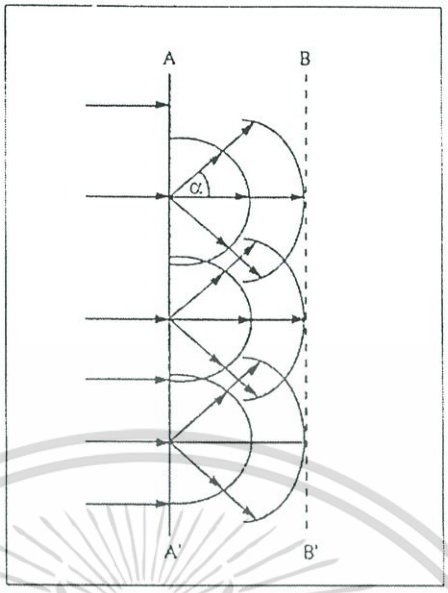
$$L(dB) = -10\log(G_t) - 10\log(G_r) - 20\log(h_t) - 20\log(h_r) + 40\log(d) \qquad (3.22)$$

3.2.2 การหักเหของคลื่น (Diffraction)

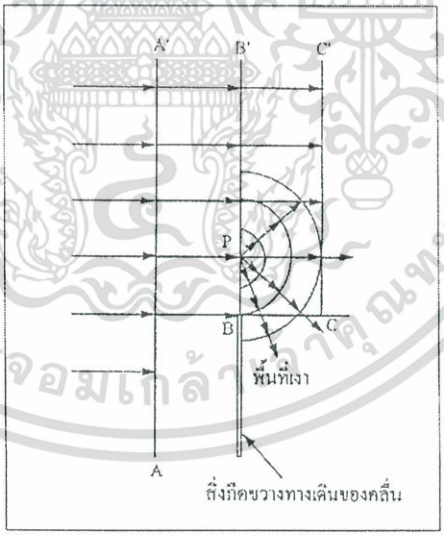
การหักเหของคลื่น (Diffraction) จะเกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งกีดขวางระหว่างเส้นทางการเดินทางของคลื่นระหว่างอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณ โดยพื้นผิวของสิ่งกีดขวางมีมุม หรือมีลักษณะที่ไม่เรียบ คลื่นที่มีการหักเหอันเนื่องจากสิ่งกีดขวาง จะมีการเคลื่อนที่ผ่านอากาศ และเคลื่อนที่บริเวณด้านหลังของสิ่งกีดขวาง (ทำให้เกิดเขตพื้นที่เงา) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์การหักเหของคลื่นที่ความถี่สูงการหักเหจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางเรขาคณิตของสิ่งกีดขวาง แอมปลิจูด เฟส และการโพลาไรซ์ของคลื่นที่จุดที่มีการหักเห ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการหักเหของคลื่น สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีเบื้องต้นของฮิวเกน (Huygen's principle) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า "ทุกๆจุดบนคลื่นวิทยุสามารถพิจารณาได้ในลักษณะเช่นเดียวกับแหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สอง ซึ่งสามารถเป็นจุดกำเนิดคลื่นย่อยต่างๆเหล่านี้ จะประกอบกันเป็นหน้าคลื่นใหม่ในเส้นทางของการแพร่กระจายคลื่น การหักเหที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายของหน้าคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดเขตพื้นที่เงาๆ ซึ่งค่าความหนาแน่นของคลื่นที่เกิดจากการหักเหในเขตพื้นที่เงาจะมีการรวมกันแบบเวคเตอร์ของคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นทั้งหมด"

จากรูปที่ 3.4 เมื่อพิจารณาที่ AA' จะเห็นว่ามีการเกิดคลื่นในแนวต่างๆที่แตกกระจายออกไปในมุม α ซึ่งมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน ค่าแอมปลิจูดของคลื่นต่างๆจะมีค่าเป็น $(1 - \cos\alpha)$ แต่ในทิศทางตรงค่ามุม α จะมีค่าเท่ากับศูนย์และมีค่าแอมปลิจูดสูงสุดคือเท่ากับ 2 ในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งมีมุม β เท่ากับ π จะมีค่าแอมปลิจูดต่ำสุด คือมีค่าเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



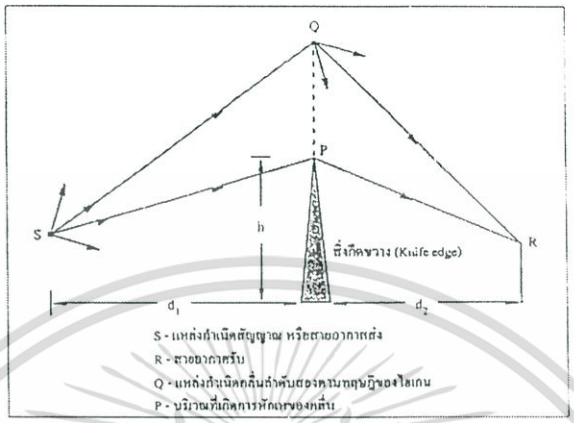
รูปที่ 3.4 หลักการของ Huygen



รูปที่ 3.5 การหักเหของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.5 เมื่อมีเขตพื้นที่เงาเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เช่น ภูเขา หรืออาคาร สิ่งก่อสร้างต่างๆเหล่านี้ โดยให้ลักษณะของสิ่งกีดขวางเป็นเหลี่ยมแหลม และมีการหักมุม ที่มีลักษณะไม่เรียบ ซึ่งการลดทอนเนื่องจากการหักเหของคลื่นที่เกิดขึ้นบริเวณนี้ จะสามารถอธิบายด้วยหลักการของฮิวเกน



รูปที่ 3.6 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen

จากรูปที่ 3.6 ค่าความแรงของสนามไฟฟ้าที่จุด R ในพื้นที่เงา (จะเรียกว่าโซนการหักเห) จะเป็นผลรวมของเวคเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดมาจากแหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของฮิวเกนในพื้นที่เหนือสิ่งกีดขวาง โดยค่าความแรงของสนามไฟฟ้า (E_d) ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการหักเหของคลื่นที่บริเวณสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมแหลม จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่(3.23)

$$E_d = E_0 f(\upsilon) \tag{3.23}$$

โดย E_0 เป็นความแรงของสนามไฟฟ้าในอากาศในบริเวณที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง และ F(v) เป็นฟังก์ชั่นของค่าพารามิเตอร์การหักเหของเฟรสเนลและไคร์ชอฟฟ์ (Fresnel-Kirchoff diffraction parameter – v) โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (3.24)

$$\upsilon = h\sqrt{2/\lambda)(d_1 + d_2)/d_1 + d_2} \tag{3.24}$$

โดย h เป็นความสูงของสิ่งกีดขวางและ d_1 และ d_2 เป็นระยะทางของสิ่งกีดขวางจากสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ตามลำดับ ถ้าสิ่งกีดขวางยื่นออกมาเหนือเส้นทางลากจากจุด S ไปยังจุด R โดยค่าของ h และ υ จะเป็นบวก แต่ถ้าสิ่งกีดขวางมีระดับต่ำกว่าสภาวะการมองเห็นในระดับสายตา ค่าของ h และ υ จะเป็นลบ และค่าอินทิกรัลของเฟรสเนลจะสามารถหาได้จากตาราง เพื่อใช้ในกรหาค่า υ โดยสมการการลดทอนเนื่องจากการหักเหในหน่วยเดซิเบลที่เกิดขึ้นจากสิ่งกีดขวางจะแสดงได้ดังสมการที่ (3.25)

$$L_d = 20 \log|f(\upsilon)| \tag{3.25}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากลักษณะของสมการลดทอนเนื่องจากการหักเหที่จะนำไปหาค่าอินทิกรัลของเฟรสเนลนั้น ยากต่อการนำไปคำนวณ ดังนั้นในปี 1985 Lee จึงได้ทำการหาค่าคำตอบโดยประมาณในหน่วยของเดซิเบลไว้ดังสมการที่ (3.26) ถึงสมการที่ (3.30)

$$L_d = 0 \qquad 1 \le \upsilon \qquad (3.26)$$

$$L_d = 20\log(0.5 + 0.62\upsilon) \qquad 0 \le \upsilon \le 1 \qquad (3.27)$$

$$L_d = 20\log(0.5_{\exp}(0.95\upsilon)) \qquad -1 \le \upsilon \le 0 \qquad (3.28)$$

$$L_d = 20\log(0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.1\upsilon + 0.38)^2}) \qquad 0 \le \upsilon \le 1 \qquad (3.29)$$

$$L_d = 20\log(-0.225 / \upsilon) \qquad \upsilon \ge -2.4 \qquad (3.30)$$

3.2.3 การกระเจิงของคลื่น (Scattering)

การกระเจิงหรือการแตกกระจายของคลื่น (Scattering) จะเกิดขึ้นเมื่อตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน เช่น สิ่งกีดขวางต่างๆ มีขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น และจำนวนของสิ่งกีดขวางต่อหน่วยปริมาตรมีจำนวนมาก ในการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณในสิ่งแวดล้อมของคลื่นวิทยุ จะประกอบไปด้วยค่าการลดทอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนและการหักเหของคลื่นควบคู่กัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระ พลังงานสะท้อนจะมีการแตกกระจายออกไปในทุกทิศทาง ดังนั้นสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ต้นไม้ เสาไฟฟ้า และพื้นผิวขรุขระต่างๆจะได้รับพลังงานที่กระจายออกมา สำหรับพื้นผิวที่มีความขรุขระมากๆจะใช้การทดสอบโดยหลักการของเรย์ลีกซ์ (Rayleigh criterion)

3.3 วิธีการหาค่าสูญเสียของสัญญาณ

วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ จะสามารถอธิบายได้ 2 ลักษณะ อันได้แก่ การอธิบายโดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical Method) การลดทอนของสัญญาณและการอธิบายโดยวิธีการสังเกต (Empirical Method) โดยสามารถนำมาใช้ในการอธิบายร่วมกันได้ ซึ่งการอธิบายโดยการสังเกต จะใช้หลักการที่เรียกว่า “Fitting curves” และการอธิบายโดยวิธีการวิเคราะห์ จะสามารพทำได้โดยการวัดระดับความแรงของสัญญาณ และทำการรวบรวมไว้เป็นข้อมูลทางสถิติ หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลทางสถิตินำมาวิเคราะห์ เมื่อนำทั้งสองวิธีมารวมกัน ก็สามารถที่จะหาค่าแฟคเตอร์เบื้องต้นของการลดทอนของสัญญาณได้

3.3.1 วิธีการของ HATA สำหรับเซลล์ขนาดเล็ก

วิธีการหาสมการการลดทอนของ Hata ได้ทำการพัฒนาจากวิธีการของ Okumura เพื่อทำให้การคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณได้ง่ายขึ้น ถึงแม้ว่ากราฟของ Okumura จะสามารถใช้งานได้จริงในภาคปฏิบัติและมีประสิทธิภาพสูงเมื่อทำการออกแบบระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ยังมีความยุ่งยากซับซ้อนในการเขียนโปรแกรมออกแบบระบบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าเฟคเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ดังนั้น Hata จึงได้ทำการแก้ไขค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากกราฟให้มาอยู่ในรูปของสมการล็อกการิทึ่ม

$$L(db) = 46.3 + 33.9\log f - 13.82\log h_t - a(h_m) + (44.9 - 6.55\log h_t)\log d + c_m \quad (3.31)$$

โดย f เป็นความถี่ที่ใช้งาน

d เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ

h_t เป็นความสูงของสายอากาศส่งที่สถานีฐาน

h_m เป็นความสูงของสายอากาศรับที่ตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

c_m มีค่าเท่ากับ 0 dB สำหรับเมืองที่มีขนาดเล็กและบริเวณปริมณฑล และมีค่าเป็น 3 ภายในตัวเมือง

$a(h_m)$ เป็นเฟคเตอร์สำหรับแก้ไขค่าความสูงของสายอากาศของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เทียบกับสภาวะพื้นฐานที่เป็นเขตพื้นที่ในเมือง

ในเมืองขนาดเล็กและขนาดกลาง

$$a(h_m) = [1.1\log f - 0.7]h_m - [1.56\log f - 0.8] \quad (3.32)$$

ในเมืองขนาดใหญ่

$$a(h_m) = 8.29[\log(1.54h_m)^2] - 1.1 \qquad f \le 200\,MHz \quad (3.33)$$

$$a(h_m) = 3.2[\log(11.75h_m)^2] - 4.97 \qquad f \le 400\,MHz \quad (3.34)$$

3.3.2 วิธีการของ COST-321/Walfish/Ikegami

วิธีการของ COST-321/Walfish/Ikegami [10]เป็นวิธีหาค่าสมการการลดทอนที่ใช้อาศัยทั้งการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งรูปแบบของสมการการลดทอนของสัญญาณจะประกอบไปด้วยค่าการลดทอนผ่านสูญญากาศ การลดทอนเนื่องจากการหักเห และการลดทอนเนื่องจากระดับความสูงที่แตกต่างกันระหว่างหลังคาของอาคารสิ่งกีดขวางรอบๆตัวเครื่องโทรศัพท์ โดยวิธีการดังกล่าวได้พัฒนามาจากวิธีการของ Walfish วิธีการของ Bertoni และวิธีการของ Ikegami ซึ่งได้มีการทดลองเพิ่มเติมและเปรียบเทียบกับค่าระดับของสัญญาณที่วัดได้จริงในตัวเมือง โดยมีสภาวะเบื้องต้น ดังนี้

1. ความถี่ใช้งานอยู่ในช่วง 800 MHz ถึง 2000 MHz
2. ความสูงของสายอากาศส่ง (H_b) 4 ถึง 50 เมตร
3. ความสูงของสายอากาศรับหรือตัวเครื่องโทรศัพท์ (H_m) 1 ถึง 3 เมตร
4. ระยะทาง (d) 0.02 กิโลเมตรถึง 5 กิโลเมตร
5. กำหนดให้ความสูงของหลังคาตึกเป็น H_{roof} มีหน่วยเป็นเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กำหนดให้ความกว้างของถนนเป็น W มีหน่วยเป็นเมตร

7. กำหนดให้ระยะห่างระหว่างตึกเป็น b มีหน่วยเป็นเมตร

8. กำหนดให้การจัดเรียงของถนนตามเส้นทางของคลื่นในแนวระดับเป็น Phi

วิธีการของ COST-321/Walfish/Ikegami ประกอบด้วยสมการการลดทอนของสัญญาณใน 2 เส้นทางคือเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตาและเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวางบดบัง ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณสำหรับเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง จะแสดงดังสมการที่ (3.35)

$$L_b = L_f + L_{rst} + L_{msd} \tag{3.35}$$

โดย L_f เป็นการลดทอนของสัญญาณเมื่อผ่านอากาศ มีค่าดังสมการที่ (3.36)

$$L_f = 32.45 + 20\log d + 20\log f \tag{3.36}$$

L_{rst} เป็นการลดทอนของสัญญาณจากการหักเหและการกระเจิงจากหลังคาตึก

$$L_{rst} = -16.9 - 10\log w + 10\log f + 20\log(H_r - H_m) + L_{cri} \tag{3.37}$$

L_{cri} เป็นการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการจัดเรียงของถนน

$$L_{cri} = -10 + 0.35\,phi \qquad 0 \le phi \le 35 \text{องศา} \tag{3.38}$$

$$L_{cri} = 205 + 0.075(phi - 35) \qquad 35 \le phi \le 55 \text{องศา} \tag{3.39}$$

$$L_{cri} = 4 + 0.114(phi - 55) \qquad 55 \le phi \le 90 \text{องศา} \tag{3.40}$$

L_{msd} เป็นการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการหักเหของหลายๆหน้าคลื่น (Multiscreen diffraction loss ซึ่งเป็นวิธีของ Walfish) แสดงดังสมการ

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log f - 9\log b \tag{3.41}$$

$$L_{bsh} = -18\log(1 + H_b - H_{roof}) \qquad H_b > H_{roof} \tag{3.42}$$

$$L_{bsh} = 0 \qquad H_b \le H_{roof} \tag{3.43}$$

$$K_a = 54 \qquad H_b > H_{roof} \tag{3.44}$$

$$K_a = 54 - 0.8(H_b - H_{roof}) \qquad d \ge 0.5 \text{ และ } H_b \le H_{roof} \tag{3.45}$$

$$K_a = 54 - 0.8(H_b - H_{roof})(d / 0.5) \qquad d < 0.5 \text{ และ } H_b \le H_{roof} \tag{3.46}$$

$$K_d = 18 \qquad H_b > H_{roof} \tag{3.47}$$

$$K_d = 18 - 15(H_b - H_{roof}) / H_{roof} \qquad H_b \le H_{roof} \tag{3.48}$$

$$K_f = -4 + 0.7\left(\frac{f}{925} - 1\right) \tag{3.49}$$

สำหรับตัวเมืองขนาดเล็กและบริเวณศูนย์กลางปริมณฑลที่มีต้นไม้พอประมาณ

$$K_f = -4 + 1.5\left(\frac{f}{925} - 1\right) \tag{3.50}$$

สำหรับศูนย์กลางของตัวเมือง

ในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา จะมีสมการการลดทอนของสัญญาณ ดังนี้

$$L_{los} = 42.6 + 26\log d + 20\log f \tag{3.51}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การออกแบบการติดตั้งสถานีฐานสำหรับพื้นที่ใช้งานที่เป็นเกาะของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM

4.1 บทนำ

สำหรับการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM ในพื้นที่ที่เป็นทะเลนั้น การออกแบบการติดตั้งสถานีฐานนั้นถือได้ว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะการวางตำแหน่งเซลล์ที่เหมาะสมจะทำให้ระบบมีคุณภาพการบริการที่ดี ระยะห่างระหว่างการวางเซลล์จะส่งผลต่อการบริการและการลงทุนของผู้ให้บริการ ถ้าวางห่างกันมากจะทำให้เกิดบริเวณที่สัญญาณต่ำกว่าข้อกำหนดการใช้งานและไม่สามารถใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM ได้หรือที่เรียกว่า จุดบอด ถ้าวางใกล้กันมากจะเกิดการรบกวนจากช่องสัญญาณที่ใช้ความถี่เดียวกันของเซลล์ข้างเคียง (Co- channel Interference) มากขึ้น ทำให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Interference Ratio) ต่ำลง ทำให้ระดับสัญญาณต่ำกว่าข้อกำหนดการใช้งาน รวมทั้งต้องใช้เซลล์จำนวนมากทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพิ่มขึ้น ดังนั้นการหาค่าระยะห่างที่เหมาะสมระหว่างเซลล์จะเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยทั่วไปจะใช้วิธีการนำเซลล์ไปติดตั้งแล้วทำการวัดทดสอบแต่ละเซลล์ซึ่งต้องใช้เวลามากรวมทั้งเครื่องมือทดสอบมีจำนวนจำกัดและต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง วิธีการคำนวณเพื่อหาระยะห่างในการติดตั้งจึงเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก ซึ่งมีผู้นำเสนอไว้หลายๆ โมเดลดังแสดงในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่า Emprical model เป็นโมเดลที่สะดวกต่อการใช้งาน โดยสร้างจากผลของสัญญาณที่ได้จากการวัดในสภาพแวดล้อมต่างๆ โดยโมเดลการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณที่นำเสนอเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากผลการวัดเก็บข้อมูลในพื้นที่ต่างๆ จากนั้นนำมาสร้างโมเดลเพื่อให้เกิดความสะดวกและง่ายต่อผู้ปฏิบัติและประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

4.2 การหาตำแหน่งเพื่อออกแบบการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ใช้งานที่เป็นเกาะ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ใช้งานที่เป็นเกาะในการหาตำแหน่งเพื่อวาง Cell Site ของโทรศัพท์มือถือระบบ GSM ในพื้นที่เป็นเกาะที่ล้อมรอบด้วยทะเล เพื่อให้บริการในเขตพื้นที่เกาะที่บริเวณน่านน้ำที่ล้อมรอบนั้นมีความจำเป็นต้องใช้โทรศัพท์มือถือหรือเป็นบริเวณพื้นที่เกาะที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวเป็นเส้นทางที่มีการเดินทางอยู่ตลอดเวลาหรือเป็นน่านน้ำเศรษฐกิจที่มีความจำเป็นต้องใช้โทรศัพท์มือถือ GSM นั้นทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังนี้ คือ สถานีฐานมีกำลังส่ง 44 dBm ใช้สาย feeder มีค่า feeder loss 3 dBm (0.038 dBm / เมตร) ซึ่งความยาวสาย feeder ประมาณ 80 เมตร ใช้ Antenna ที่มีอัตราขยาย 18 dBi ติดตั้งที่ความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ความถี่ที่ใช้ทางด้านส่งและรับของระบบ GSM ย่าน 900 MHz

Channel number	Downlink TX	Uplink RX	Channel number	Downlink TX	Uplink RX
1	935.200	890.200	29	940.800	895.800
2	935.400	890.400	30	941.000	896.000
3	935.600	890.600	31	941.200	896.200
4	935.800	890.800	32	941.400	896.400
5	936.000	891.000	33	941.600	896.600
6	936.200	891.200	34	941.800	896.800
7	936.400	891.400	35	942.000	897.000
8	936.600	891.600	36	942.200	897.200
9	936.800	891.800	37	942.400	897.400
10	937.000	892.000	38	942.600	897.600
11	937.200	892.200	39	942.800	897.800
12	937.400	892.400	40	943.000	898.000
13	937.600	892.600	41	943.200	898.200
14	937.800	892.800	42	943.400	898.400
15	938.000	893.000	43	943.600	898.600
16	938.200	893.200	44	943.800	898.800
17	938.400	893.400	45	944.000	899.000
18	938.600	893.600	46	944.200	899.200
19	938.800	893.800	47	944.400	899.400
20	939.000	894.000	48	944.600	899.600
21	939.200	894.200	49	944.800	899.800
22	939.400	894.400	50	945.000	900.000
23	939.600	894.600	51	945.200	900.200
24	939.800	894.800	52	945.400	900.400
25	940.000	895.000	53	945.600	900.600
26	940.200	895.200	54	945.800	900.800
27	940.400	895.400	55	946.000	901.000
28	940.600	895.600	56	946.200	901.200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

Channel number	Downlink TX	Uplink RX	Channel number	Downlink TX	Uplink RX
57	946.400	901.400	85	952.000	907.000
58	946.600	901.600	86	952.200	907.200
59	946.800	901.800	87	952.400	907.400
60	947.000	902.000	88	952.600	907.600
61	947.200	902.200	89	952.800	907.800
62	947.400	902.400	90	953.000	908.000
63	947.600	902.600	91	953.200	908.200
64	947.800	902.800	92	953.400	908.400
65	948.000	903.000	93	953.600	908.600
66	948.200	903.200	94	953.800	908.800
67	948.400	903.400	95	954.000	909.000
68	948.600	903.600	96	954.200	909.200
69	948.800	903.800	97	954.400	909.400
70	949.000	904.000	98	954.600	909.600
71	949.200	904.200	99	954.800	909.800
72	949.400	904.400	100	955.000	910.000
73	949.600	904.600	101	955.200	910.200
74	949.800	904.800	102	955.400	910.400
75	950.000	905.000	103	955.600	910.600
76	950.200	905.200	104	955.800	910.800
77	950.400	905.400	105	956.000	911.000
78	950.600	905.600	106	956.200	911.200
79	950.800	905.800	107	956.400	911.400
80	951.000	906.000	108	956.600	911.600
81	951.200	906.200	109	956.800	911.800
82	951.400	906.400	110	957.000	912.000
83	951.600	906.600	111	957.200	912.200
84	951.800	906.800	112	957.400	912.400

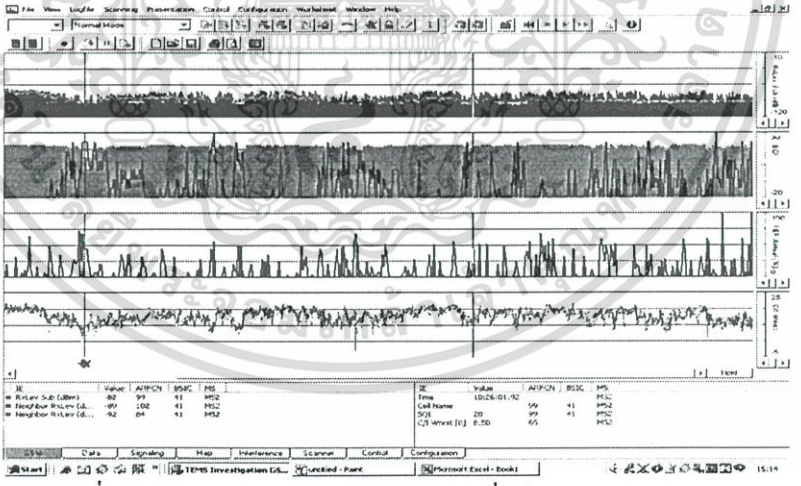
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงเสาอยู่ในช่วง 70-80 เมตร จากนั้นทำการวัดผลด้วยตัว Mobile Temp ซึ่งต้องต่อเข้ากับ Note Book ที่มีโปรแกรม Temp Investigation และต่อ GPS เข้ากับ Note Book เพื่อจะทำให้สามารถทราบตำแหน่งพื้นที่ในเส้นทางที่ทำการวัดรวบรวมข้อมูล และต้องใช้โปรแกรม Map Info เพื่อใช้ในการแปลงข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Temp Investigation นำมา Map ลงในพื้นที่เส้นทางที่ได้วัดข้อมูล และได้นำอุปกรณ์ทั้งหมดติดตั้งในเรือเร็วที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 53 Km / Hr



รูปที่ 4.1 เครื่องมือวัดค่าระดับสัญญาณ

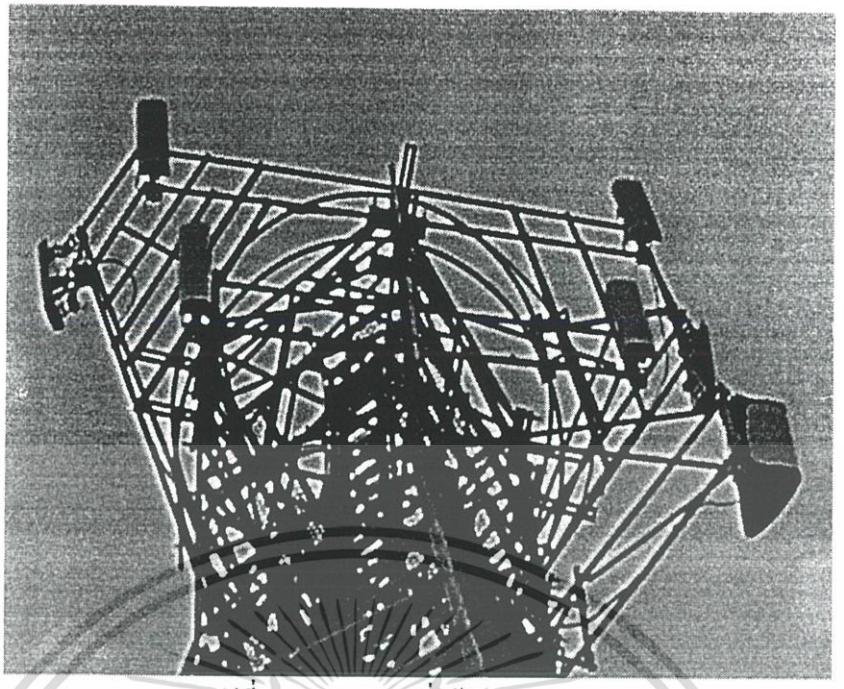
รูปที่ 4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดระดับสัญญาณประกอบด้วย Moblile Temp, Notbook ที่ต้องมีโปรแกรม Temp Investigation, โปรแกรม Map Info และ GPRS ที่ใช้บอกตำแหน่ง MS



รูปที่ 4.2 โปรแกรม Temp Investigation ที่ใช้ในการวัดระดับสัญญาณ

รูปที่ 4.2 เป็นโปรแกรม Temp Investigation ที่ใช้ในการวัดระดับสัญญาณในระยะทางต่างๆ ซึ่งจะใช้ในการนำมาวิเคราะห์หาสมการการลดทอนของสัญญาณในระยะทางต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 สายอากาศที่ใช้ในการส่งสัญญาณ

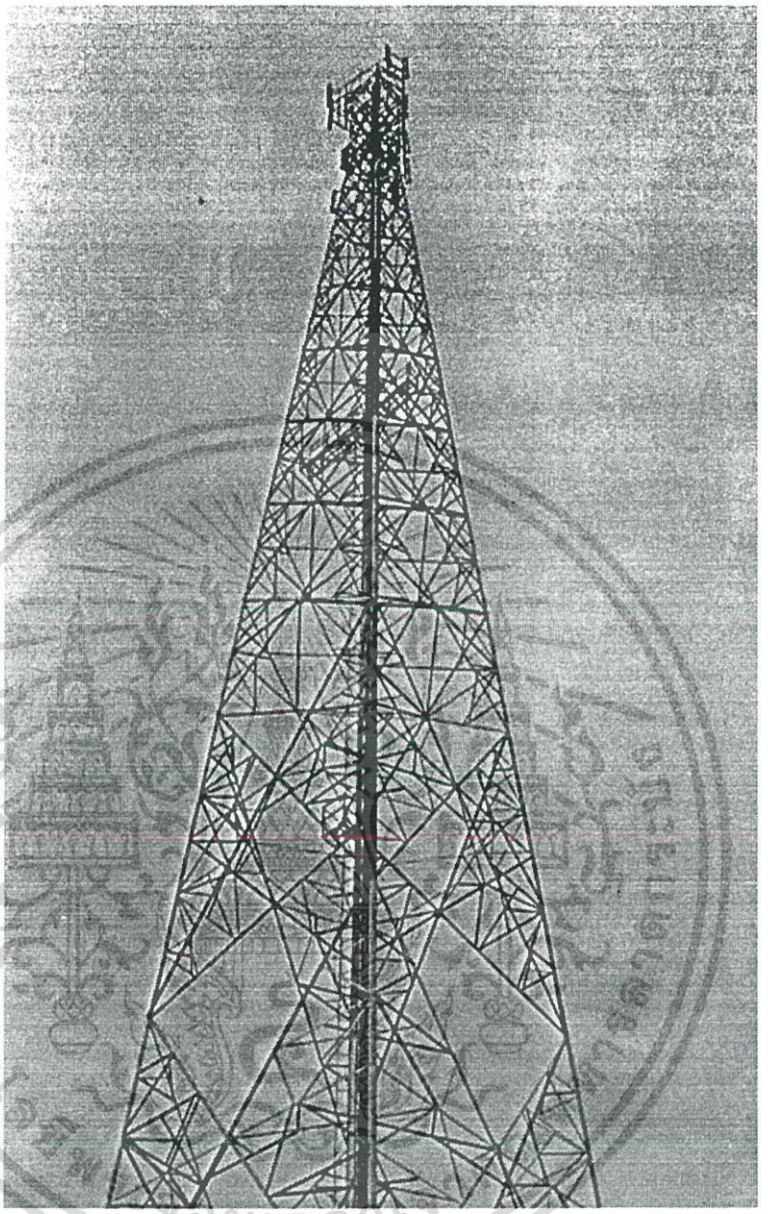
รูปที่ 4.3 แสดงสายอากาศที่ใช้ในการส่งสัญญาณซึ่งมีค่า Antena Gain เท่ากับ 18dBi



รูปที่ 4.4 สถานีฐานที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 4.4 แสดงสถานีฐานที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งภายในสถานีฐานจะประกอบด้วยอุปกรณ์ Base Station

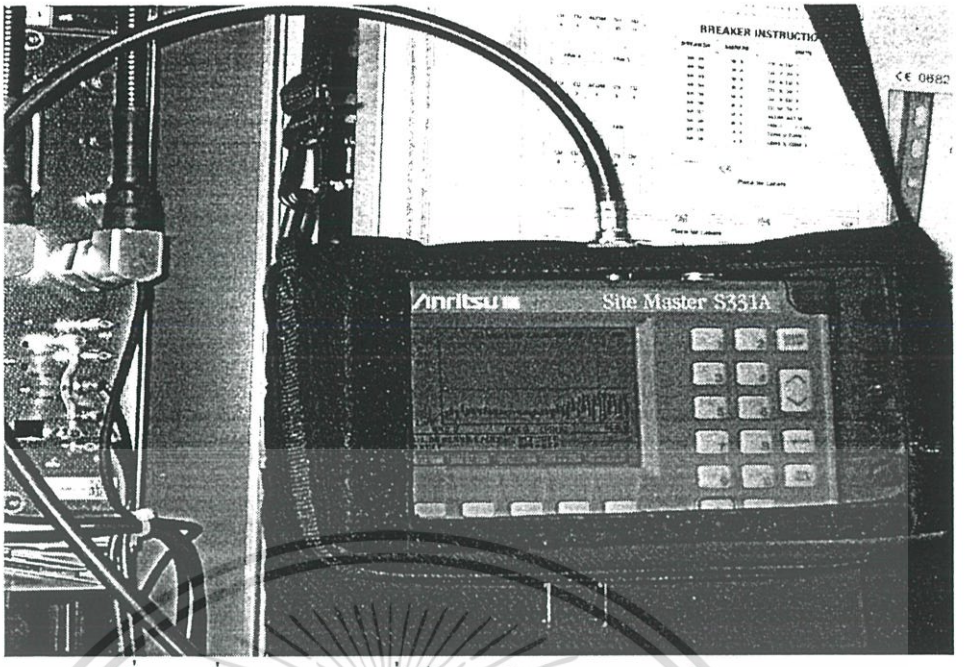
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 เสาส่งสัญญาณที่ใช้ในการส่งสัญญาณระดับความสูง 80 เมตร

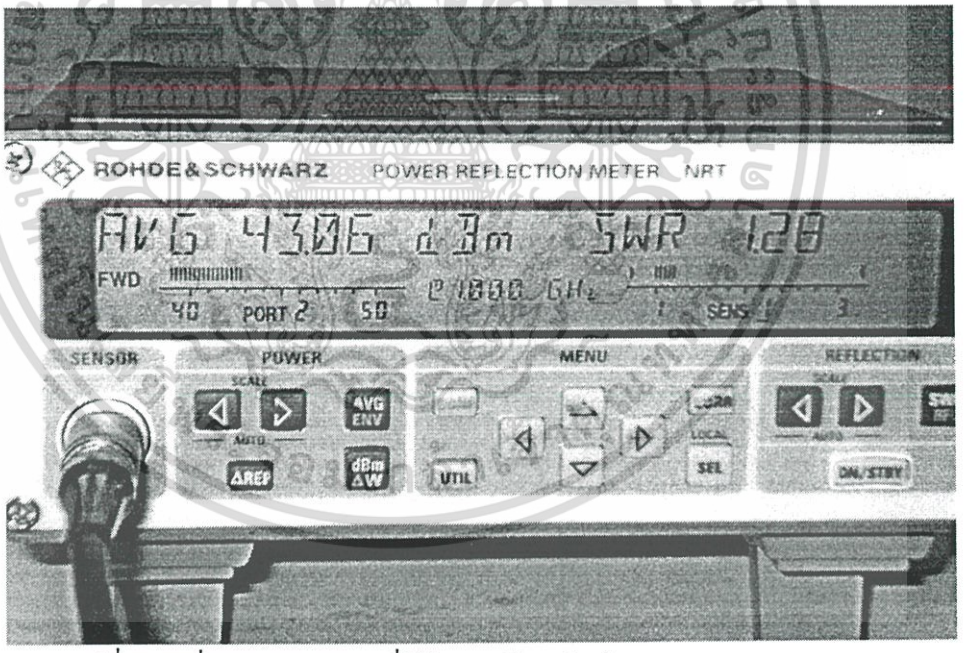
รูปที่ 4.5 เสาส่งสัญญาณที่ใช้ในส่งสัญญาณระดับความสูง 80 เมตร ซึ่งสายอากาศที่ใช้ทดสอบจะติดตั้งอยู่ในกระดับ 70-80 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 เครื่อง Site Master ที่ใช้ในการวัดค่า Feeder loss ในสาย Feeder

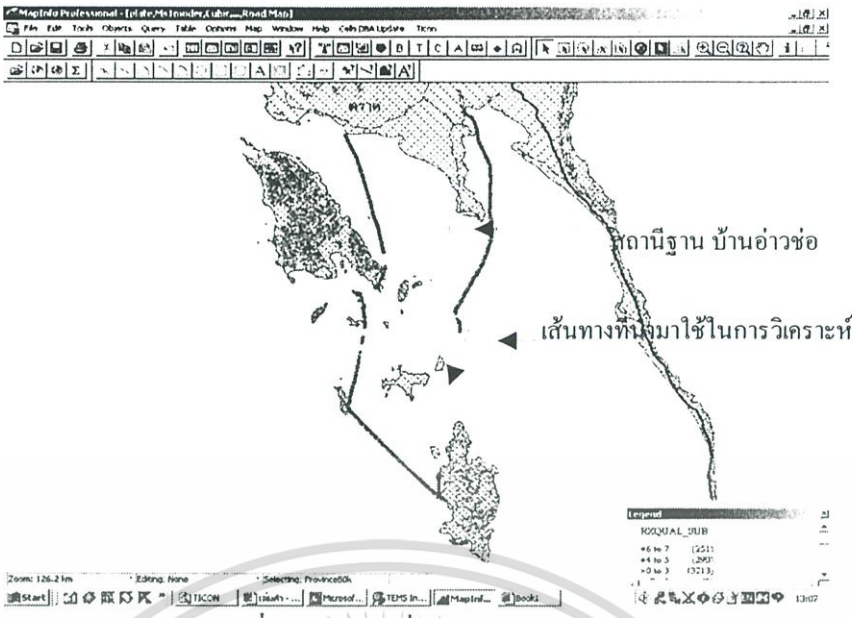
รูปที่ 4.6 เครื่อง Site Master ที่ใช้วัดค่า Feeder loss ซึ่งสาย Feeder ที่ใช้มีความยาว 80 เมตร และวัดค่า Feeder loss เท่ากับ 3 dBm



รูปที่ 4.7 เครื่อง Power Meter ที่ใช้ในการวัดระดับสัญญาณจาก Base Station

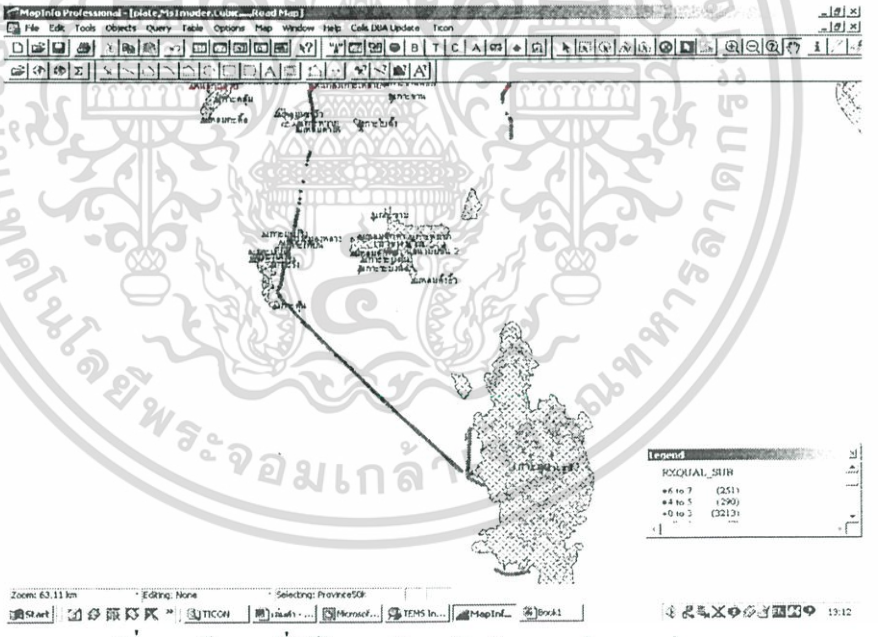
รูปที่ 4.7 เครื่อง Power Meter ที่วัดระดับสัญญาณจาก Base Station ซึ่งวัด Power ได้เท่ากับ 44 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 เส้นทางที่ใช้ในการวัดระดับสัญญาณ

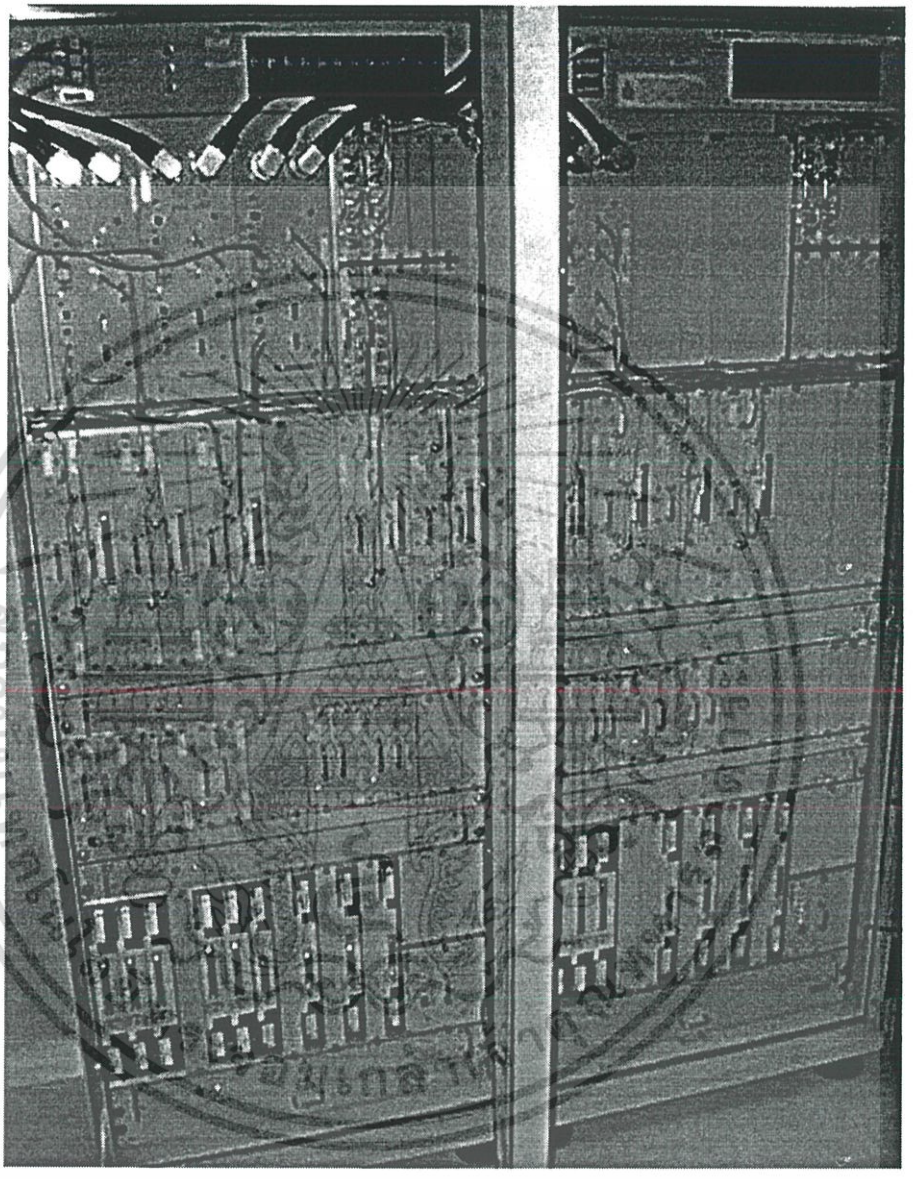
รูปที่ 4.8 แสดงเส้นทางทั้งหมดที่ใช้ในการวัดจากการใช้โปรแกรม Map Info โดยการแปลงข้อมูลจาก โปรแกรม Temp Investigation และแสดงเส้นทางที่ใช้ในการนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากระดับสัญญาณที่วัดได้ในเส้นทางนี้ไม่มีสัญญาณรบกวนจากสถานีฐานอื่น



รูปที่ 4.9 เส้นทางที่ใช้ในการวัดระดับสัญญาณช่วงระหว่างเกาะกูด

รูปที่ 4.9 แสดงเส้นทางที่ใช้ในการวัดระดับสัญญาณด้วยโปรแกรม Map Info ช่วงระหว่างเกาะช้าง - เกาะกูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



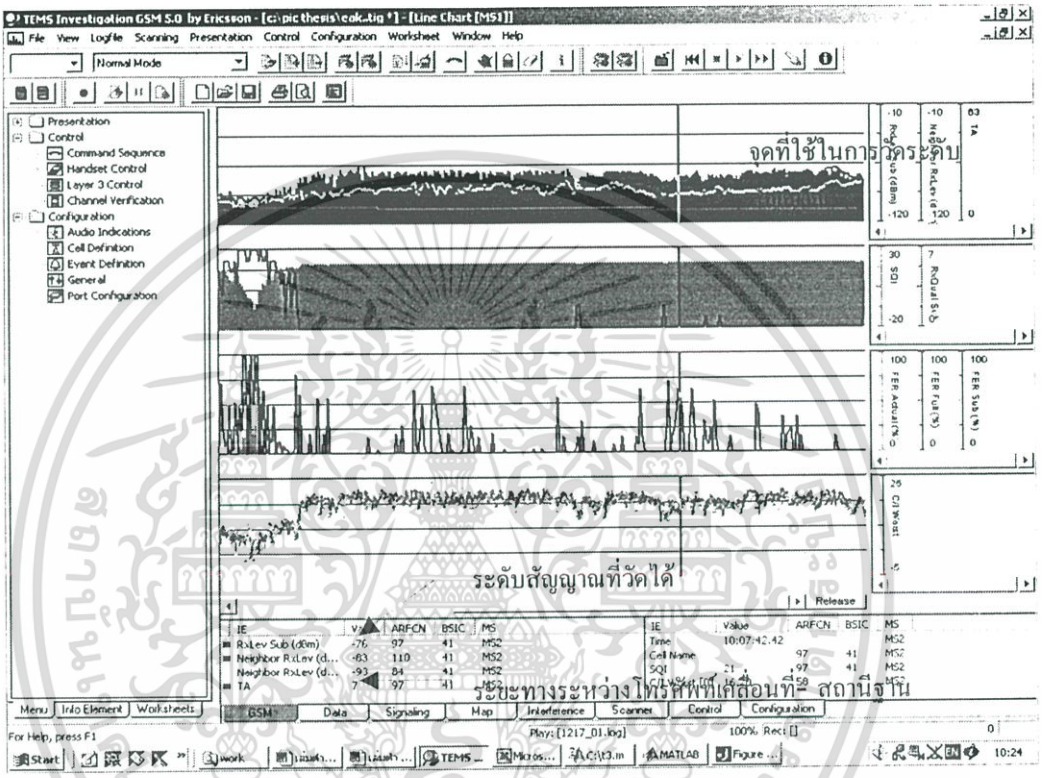
รูปที่ 4.10 Base Station ส่งสัญญาณ

รูปที่ 4.10 แสดงอุปกรณ์ Base Station ที่ใช้ในการส่งสัญญาณซึ่งมีค่า Power เท่ากับ 44 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ข้อมูล

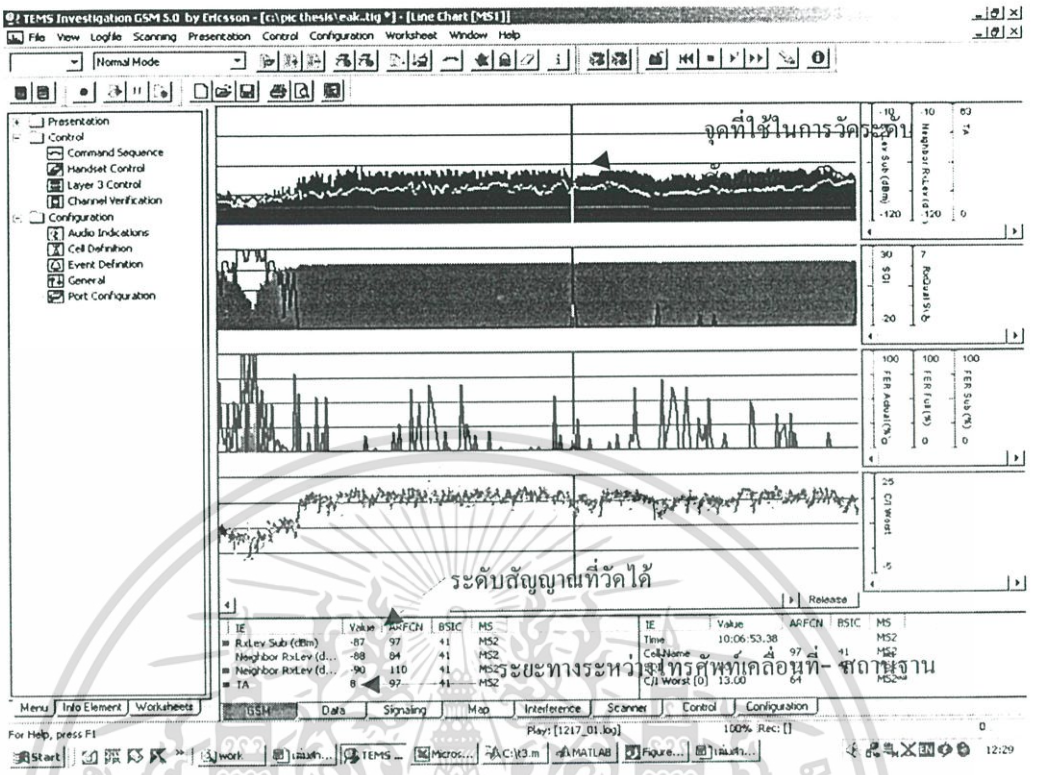
จากเส้นทางทั้งหมดที่ได้เดินทางและเก็บข้อมูลของระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทางต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นโปรแกรม Map Info ซึ่งได้จากการแปลงของโปรแกรม Temp Investigationซึ่งจะใช้โปรแกรม Temp Investigation ในการหาระดับสัญญาณที่ระยะทางต่างๆ แล้วนำมา Plot Graph Semilog เพื่อจะหาสมการลดทอนสัญญาณที่ระยะทางต่างๆ



รูปที่ 4.11 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 3.5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.11ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –76 dBm ที่ระยะทาง 3.5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 7 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 3.5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ –62dBm, -64 dBm, -65 dBm, -66 dBm, -67 dBm, -68 dBm, -69 dBm, -75 dBm, -77 dBm, -78 dBm, -80 dBm, -82 dBm, -85 dBm, -86 dBm, -88 dBm, -90 dBm

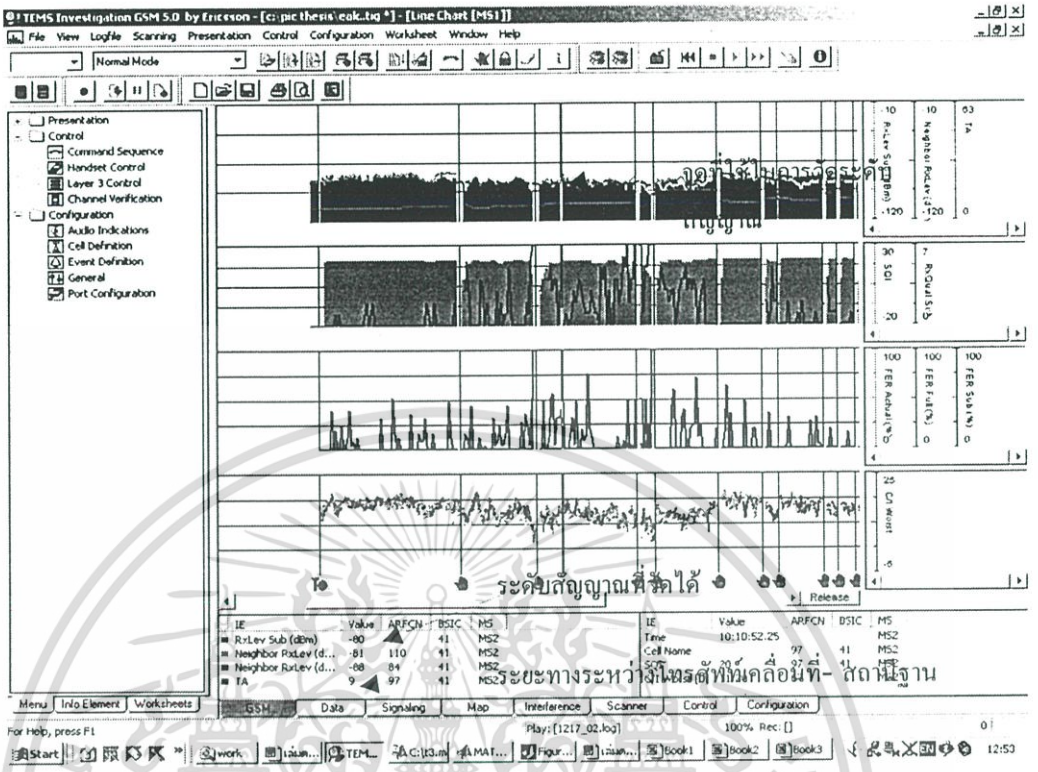
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.12ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –87 dBm ที่ระยะทาง 4 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 8 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 4 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ –65dBm, -70 dBm , -75 dBm, -77 dBm, -78 dBm, -79 dBm, -80 dBm, -82 dBm, -83 dBm, -85 dBm, -87 dBm, -89 dBm, -91 dBm, –92 dBm

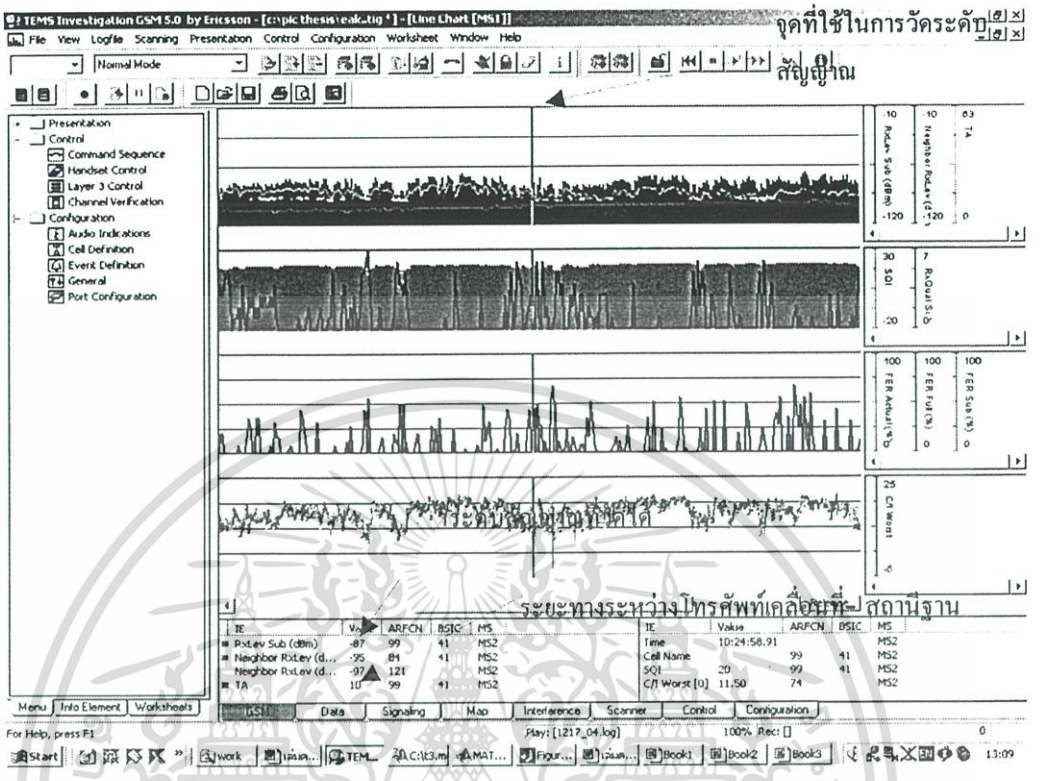
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 4 .5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.13ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –80 dBm ที่ระยะทาง 4.5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 9 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 4.5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ -72 dBm, -74 dBm, -73 dBm, -75 dBm , -77 dBm , -78 dBm, -79 dBm, -80 dBm, -82 dBm, -84 dBm, -86 dBm, -88 dBm, -89 dBm, -91 dBm, -92 dBm, -93 dBm

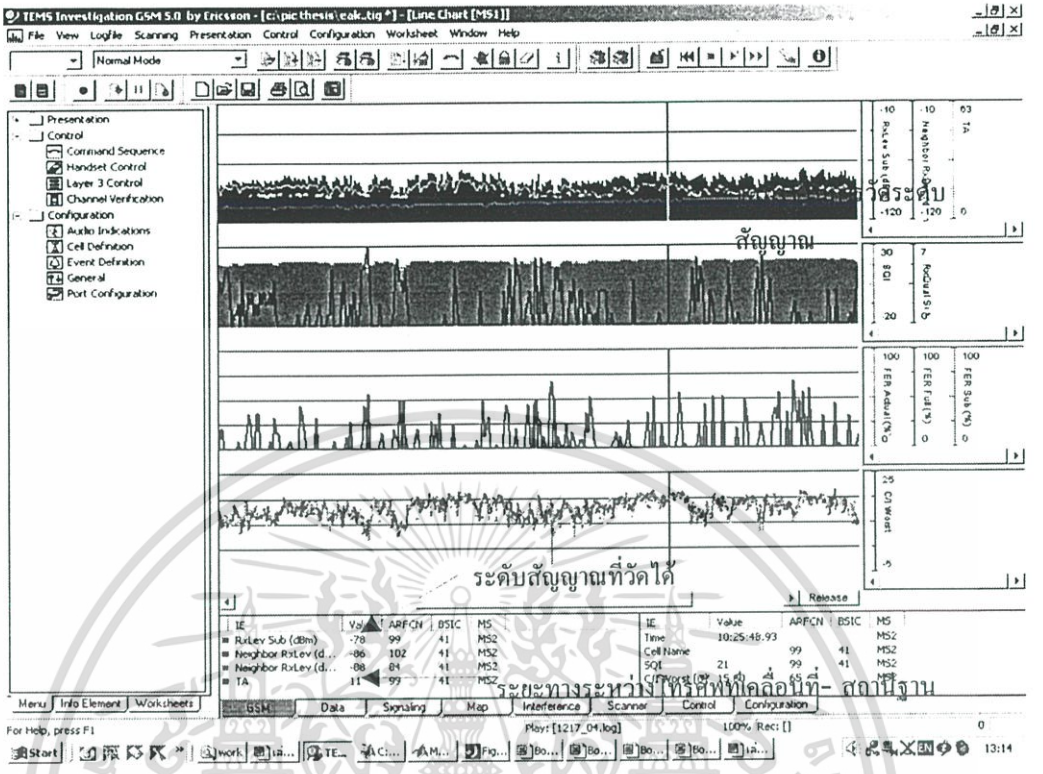
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.14 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –87 dBm ที่ระยะทาง 5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 10 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ –72dBm, -74 dBm, -73 dBm, -75 dBm, -77 dBm , -78 dBm, -79 dBm, -80 dBm, -82 dBm, -85 dBm, -90 dBm, -92 dBm, -94 dBm, -87 dBm, -89 dBm

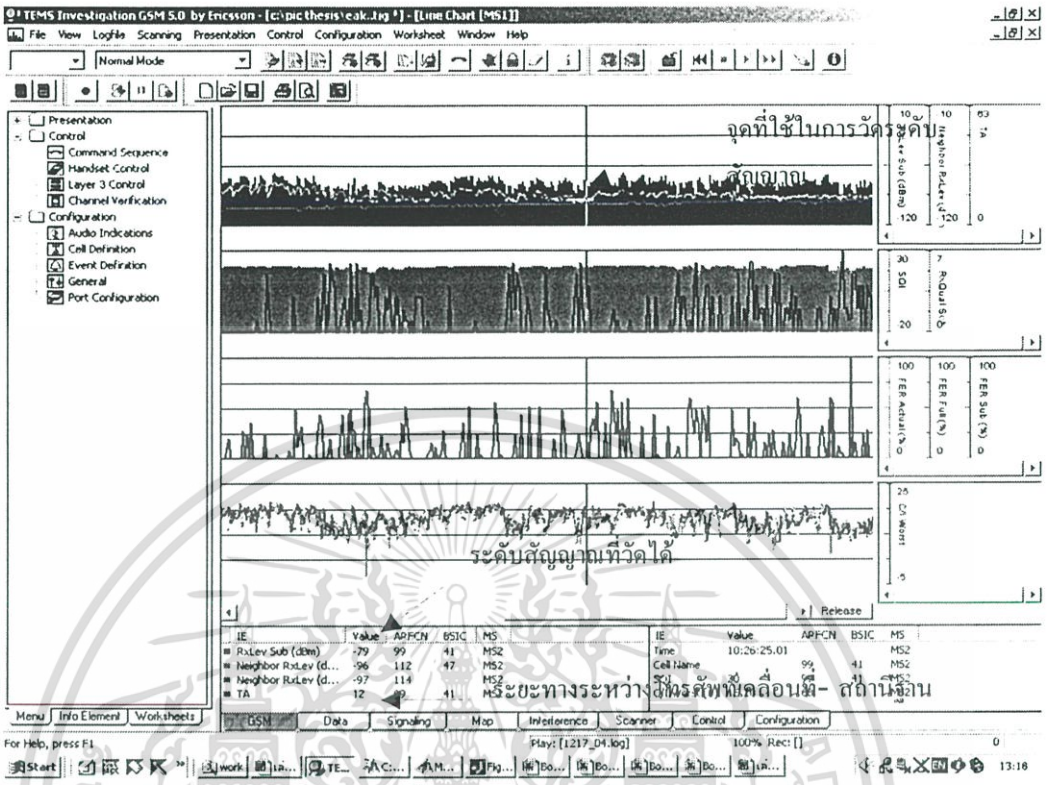
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 5.5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.15 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –78 dBm ที่ระยะทาง 5.5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 11 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 5.5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ –72dBm , -74 dBm, -73 dBm, -75 dBm, -77 dBm, -78 dBm, -79 dBm, -80 dBm, -82 dBm, -85 dBm, -90 dBm, -92 dBm, -94 dBm, -87 dBm, –89 dBm

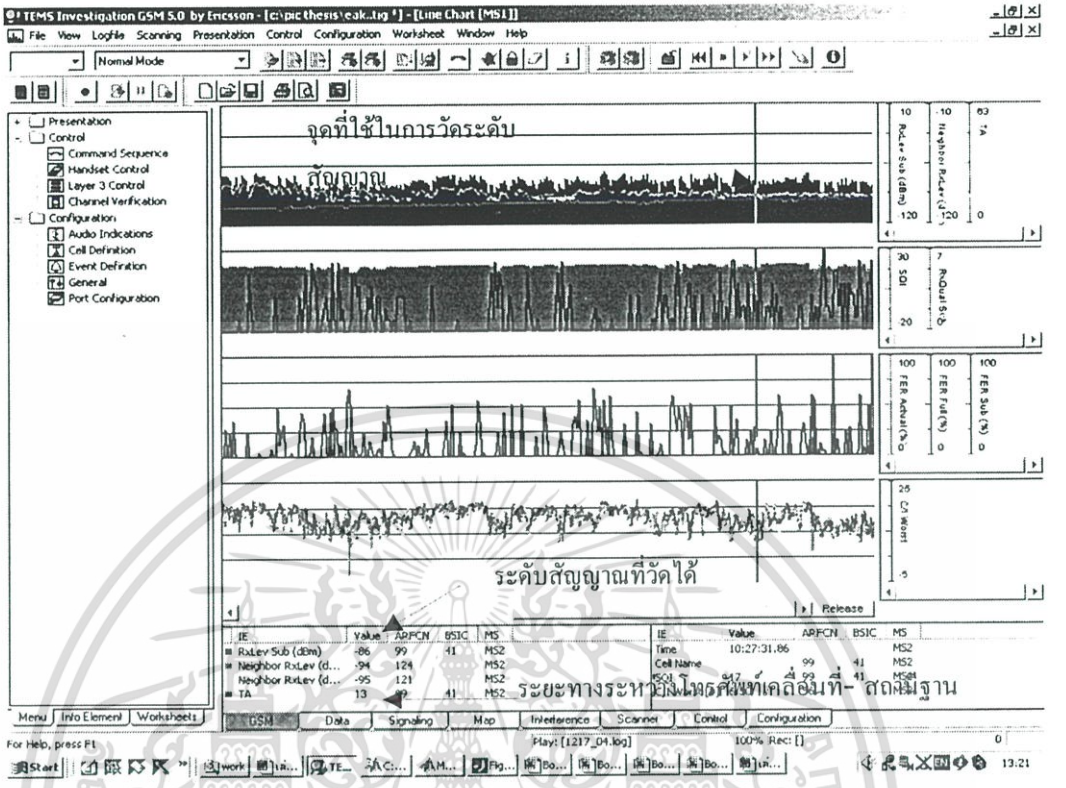
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 6 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.16 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –79 dBm ที่ระยะทาง 6 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 12 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 6 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ –75dBm, -95 dBm, -91 dBm, -93 dBm, -82 dBm , -83 dBm, -84 dBm, -85 dBm, -86 dBm , -76 dBm, -78 dBm, -80 dBm, -75 dBm, -77 dBm

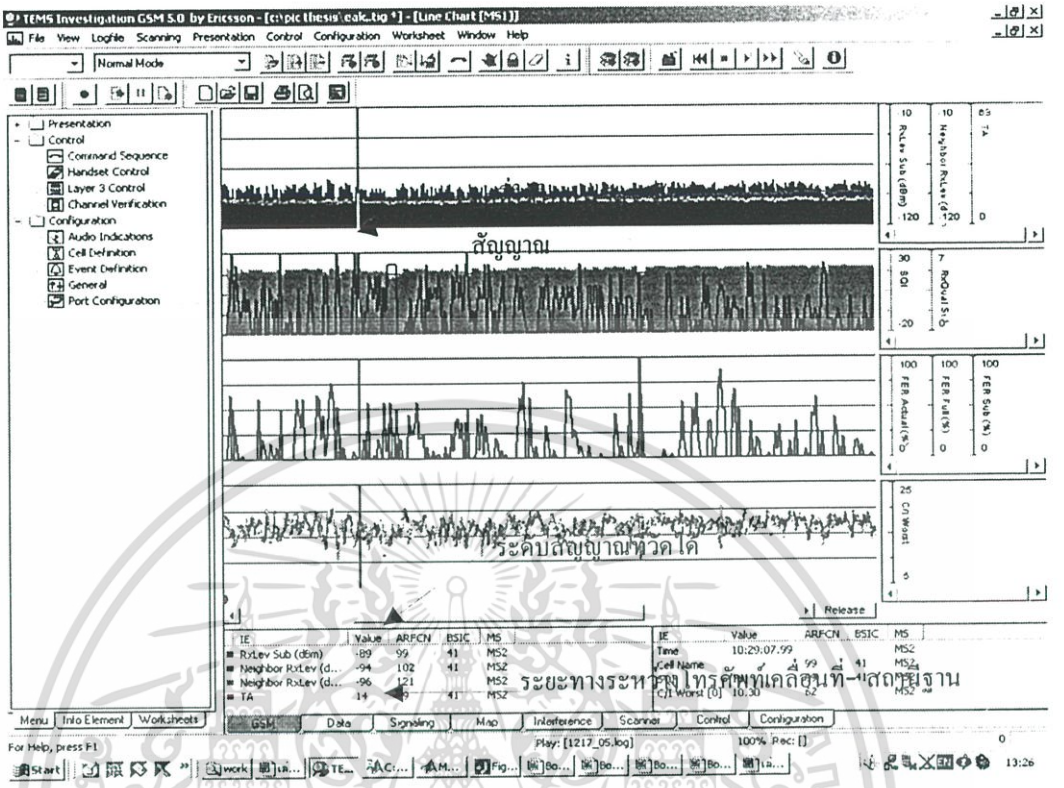
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 6.5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.17 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –86 dBm ที่ระยะทาง 6.5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 13 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 6.5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ –76dBm , -78 dBm, -79 dBm, -81 dBm, -82 dBm, -83 dBm, -84 dBm, -85 dBm, -86 dBm, -91 dBm, -93 dBm, -95 dBm, -96 dBm, -98 dBm

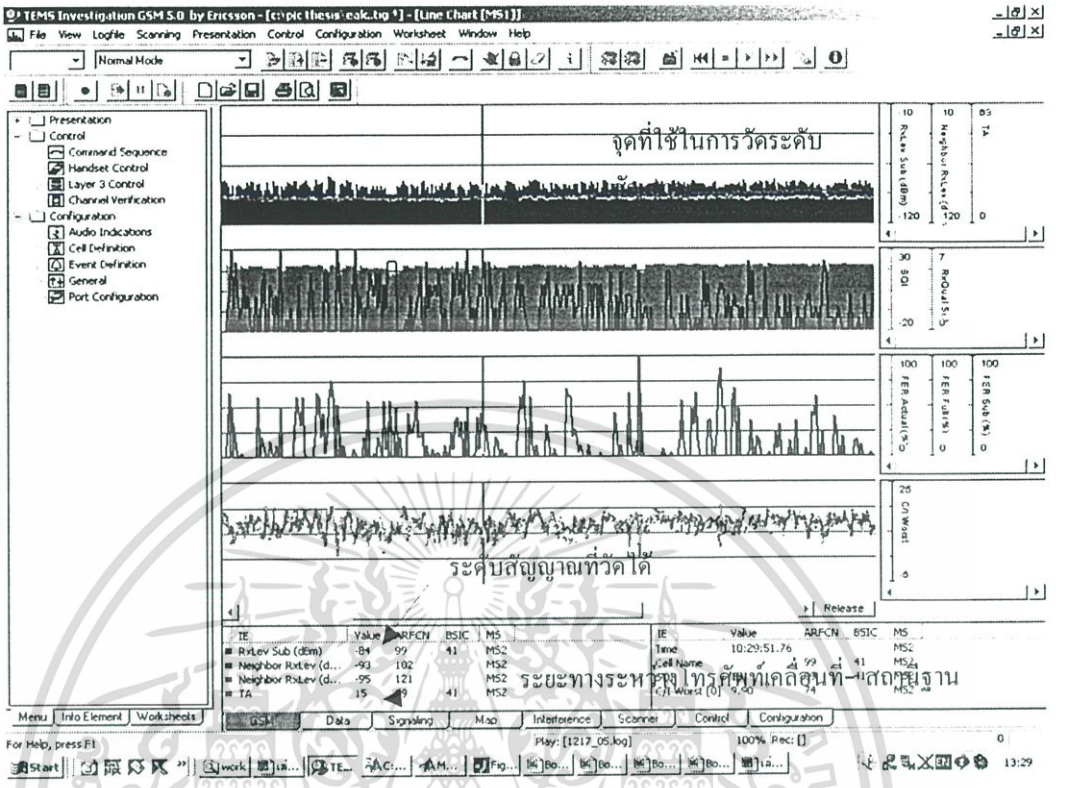
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 7 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.18 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –89 dBm ที่ระยะทาง 7 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 14 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 7 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ –80dBm, -94 dBm, -79 dBm, -81 dBm, -82 dBm, -83 dBm, -84 dBm, -85 dBm, -86 dBm, -91 dBm, -93 dBm, -95 dBm, -96 dBm, -98 dBm

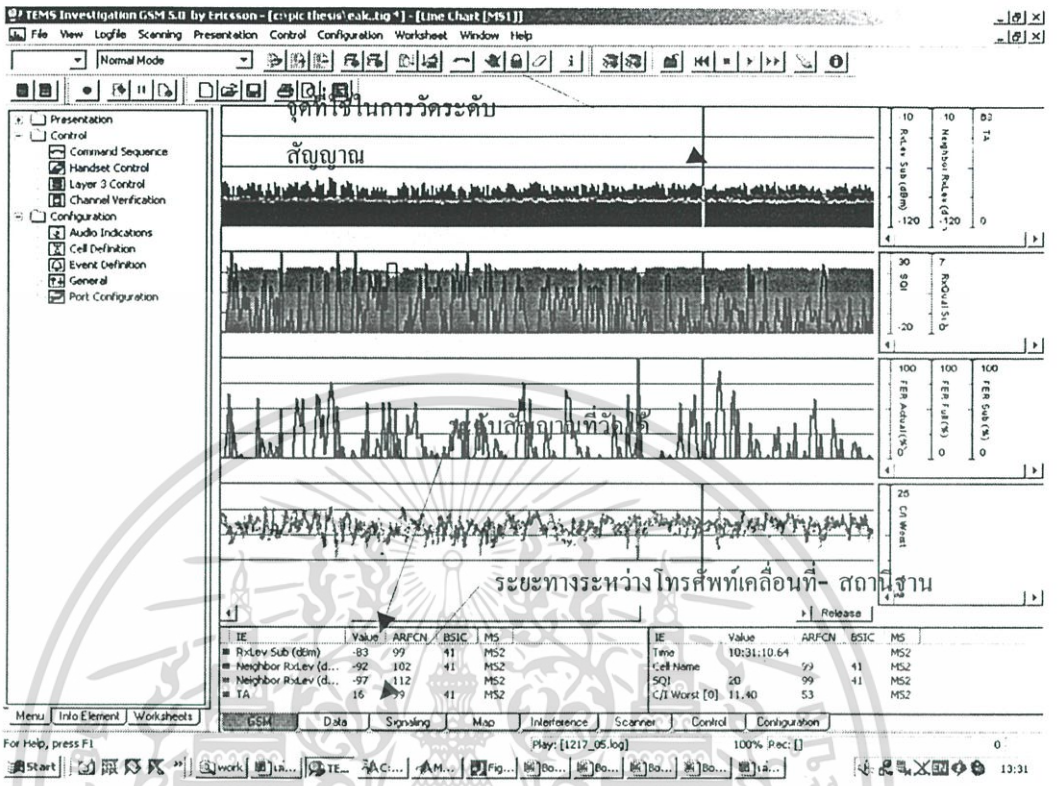
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 7.5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.19 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –84 dBm ที่ระยะทาง 7.5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 15 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 7.5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ –80dBm ,-89 d Bm, -87 d Bm, -81 d Bm, -82 d Bm, -83 d Bm, -84 d Bm, -85 d Bm, -86 d Bm, -88 d Bm, -90 d Bm, -91 d Bm, -92 d Bm , -93 d Bm

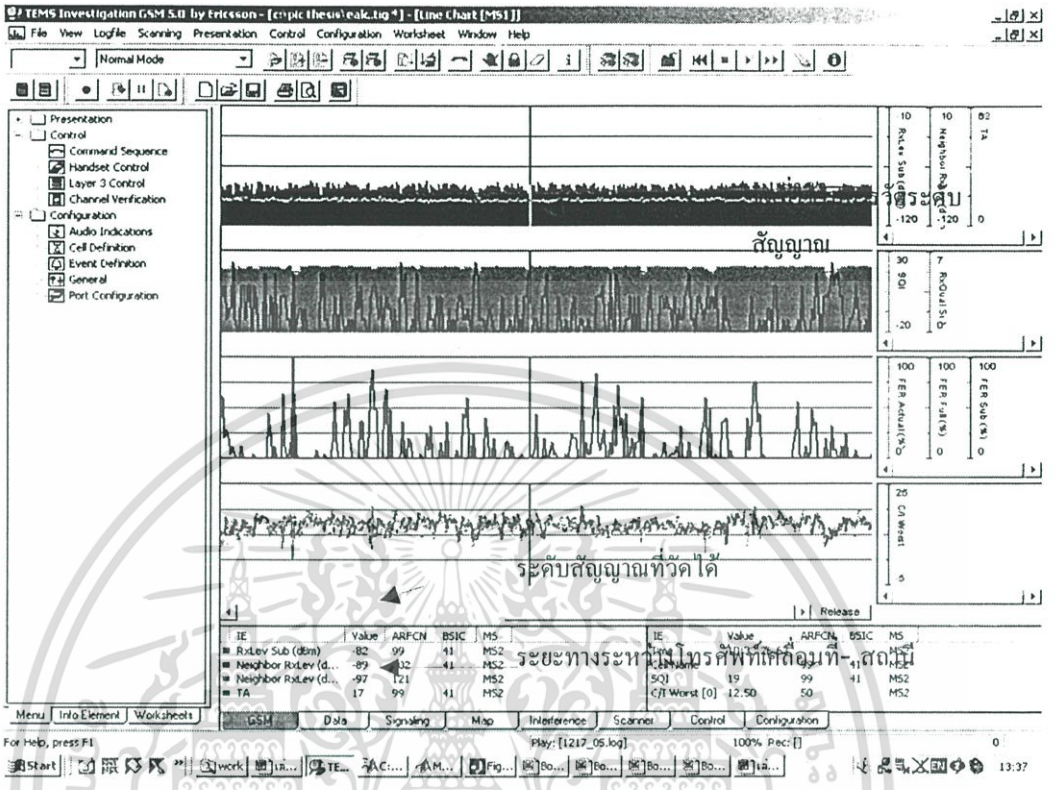
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 8 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.20 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –83 dBm ที่ระยะทาง 8 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 16 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 8 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ –80dBm, –94 dBm , -87 dBm, -81 dBm, -82 dBm , -83 dBm, -84 dBm, -85 dBm, -86 dBm, -91 dBm, -93 dBm, -95 dBm, -96 dBm, -95 dBm

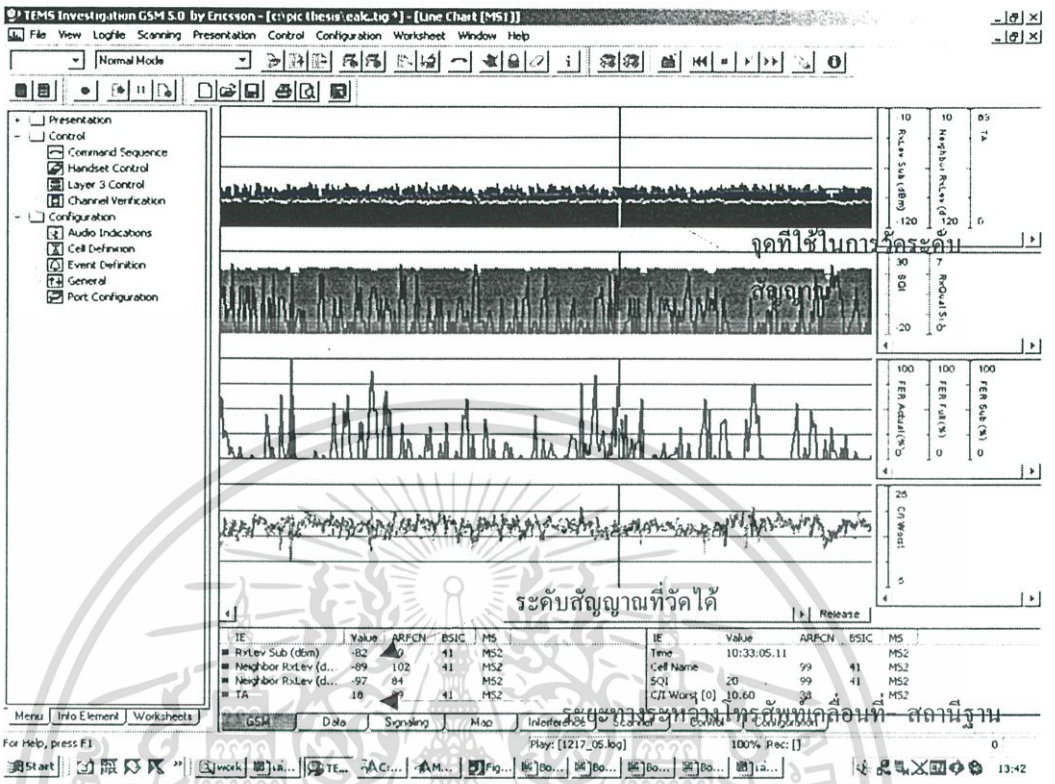
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 8.5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.21 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –82 dBm ที่ระยะทาง 8.5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 17 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 8.5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ –80dBm ,–94 dBm, -87 dBm, -81 dBm, -82 dBm, -83 dBm, -84 dBm, -85 dBm, -86 dBm, -91 dBm , -93 dBm, -95 dBm, -96 dBm, -95 dBm

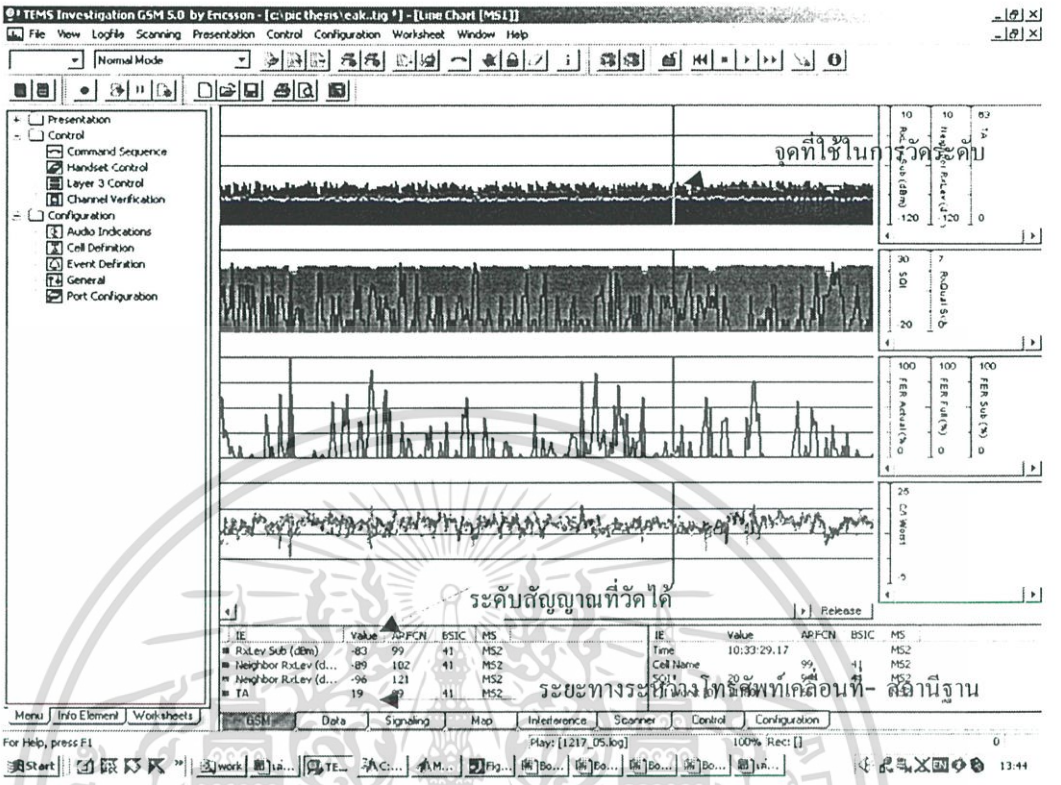
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 9 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.22 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –82 dBm ที่ระยะทาง 9 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 18 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 9 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ –80dBm, –94 dBm , -87 dBm, -81 dBm, -82 dBm, -83 dBm, -84 dBm, -85 dBm, -86 dBm, -91 dBm, -93 dBm, -95 dBm, -96 dBm, -95 dBm

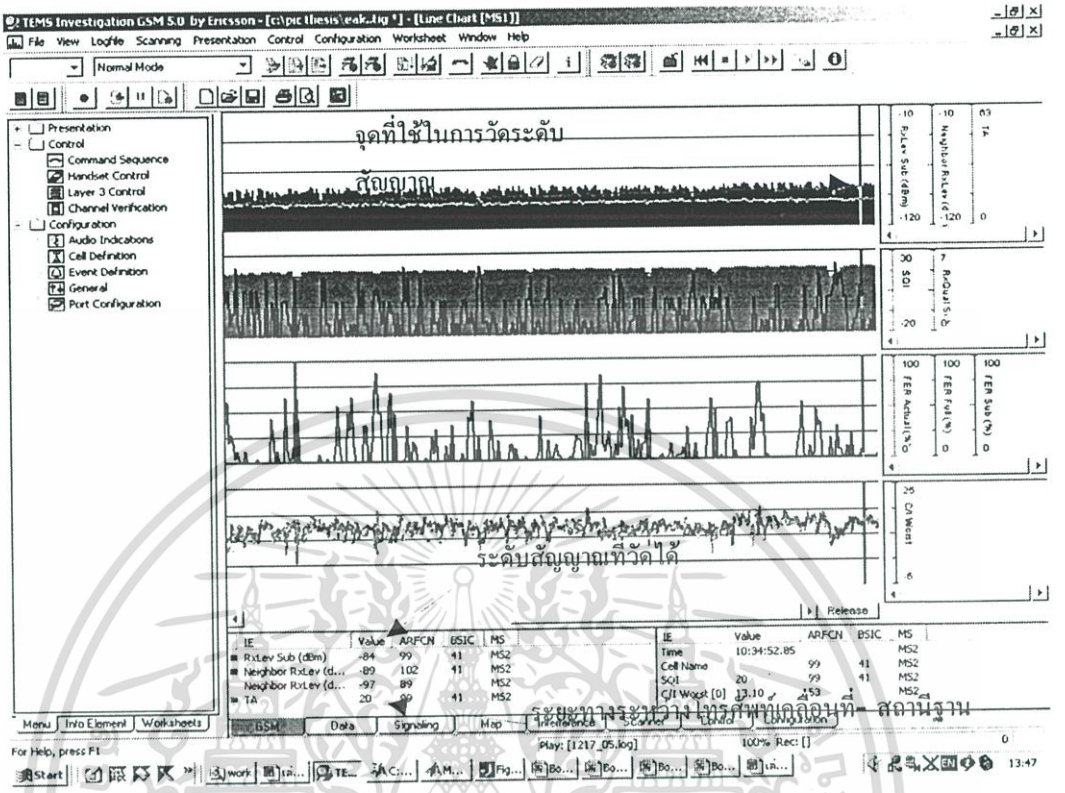
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง 9.5กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.23 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –83 dBm ที่ระยะทาง 9.5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 19 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 9.5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ –80dBm, –94 dBm, -87 dBm, -81 dBm, -82 dBm, -83 dBm, -84 dBm, -85 dBm, -86 dBm, -91 dBm, -93 dBm, -95 dBm, -96 dBm, -95 dBm

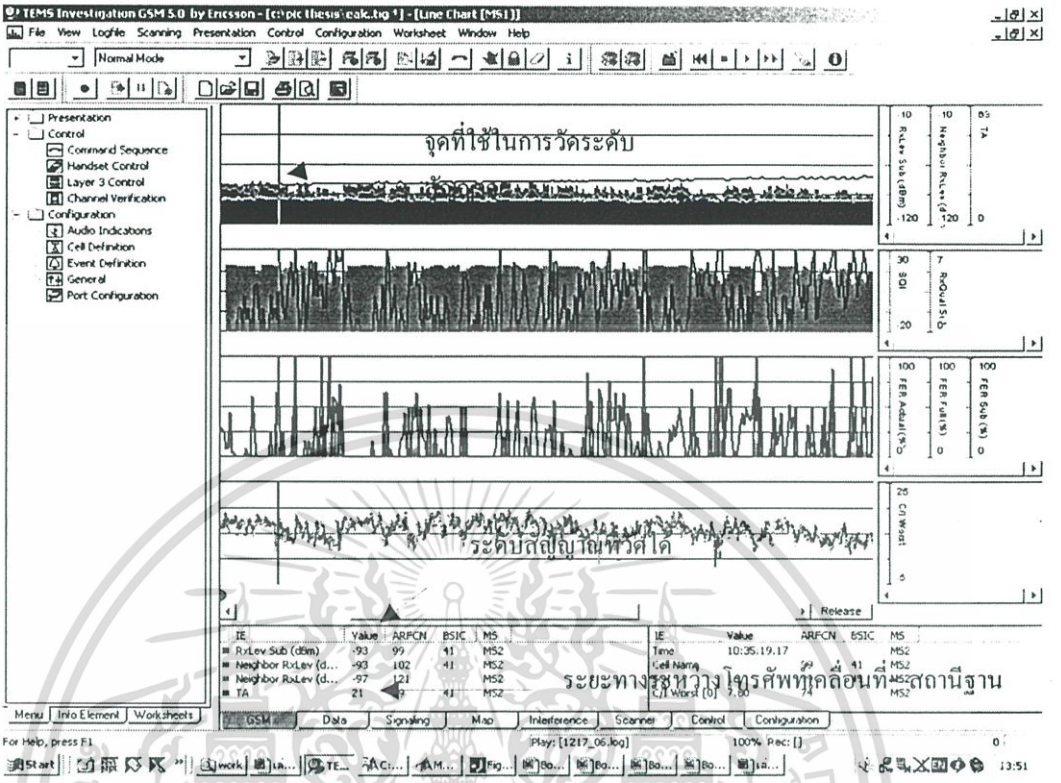
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง10 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.24 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ –84 dBm ที่ระยะทาง 10 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 20 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 10 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ -82 dBm, -94 dBm, -87 dBm, -81 dBm, -82 dBm, -83 dBm, -84 dBm, -85 dBm, -86 dBm, -91 dBm, -93 dBm, -95 dBm, -96 dBm, -97 dBm

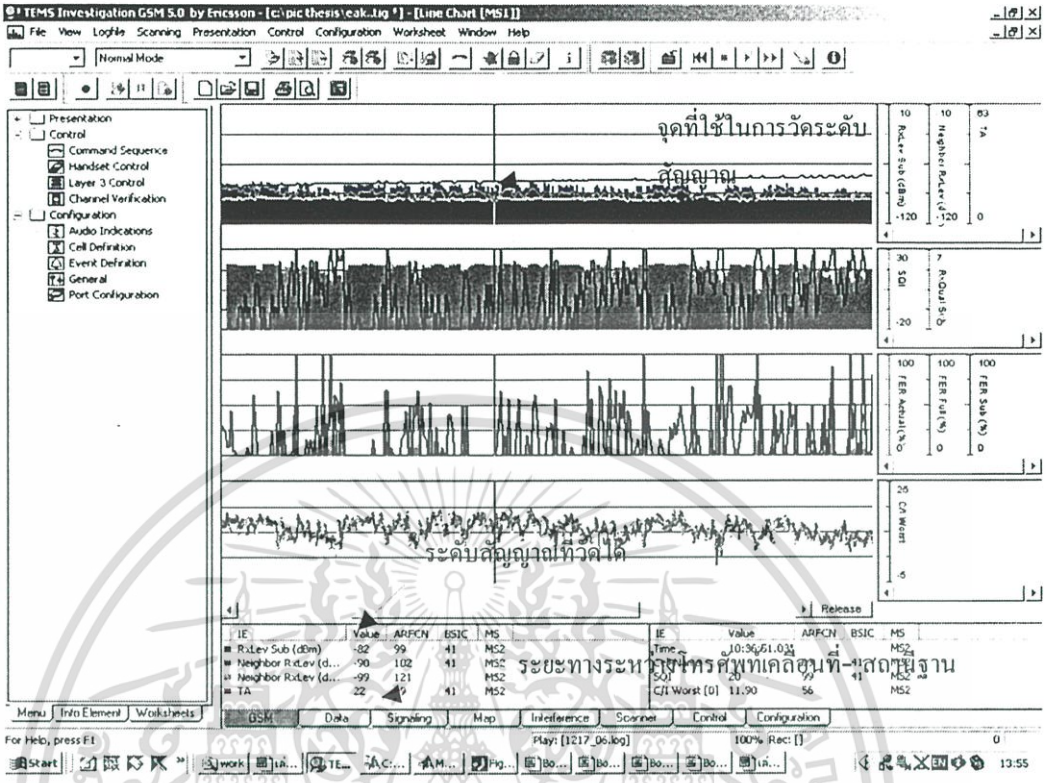
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง10.5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.25 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ -93 dBm ที่ระยะทาง 10.5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 21 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 10.5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ -85dBm, -94 dBm, -87 dBm, -88 dBm, -89 dBm, -90 dBm, -91 dBm, -85 dBm, -86 dBm, -91 dBm, -93 dBm, -95 dBm, -96 dBm, -97 dBm

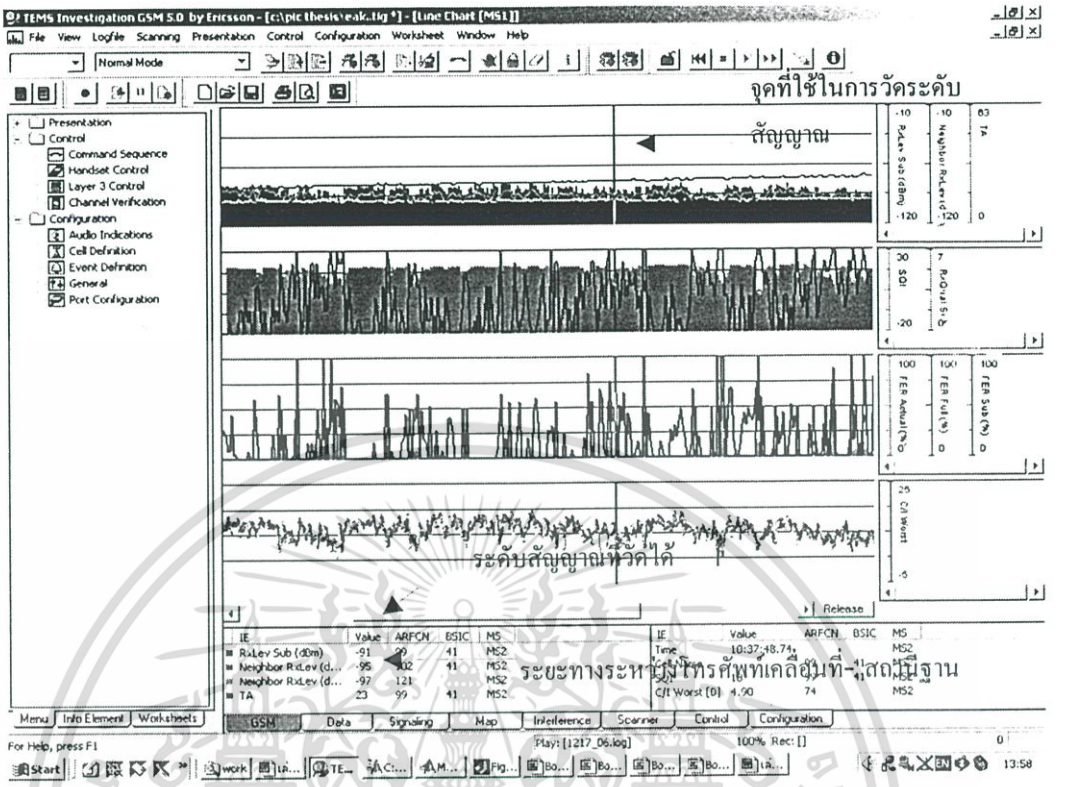
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง11 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.26 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ -82 dBm ที่ระยะทาง 11 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 22 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 11 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ -83dBm, -94 dBm, -87 dBm, -97 dBm, -98 dBm, -99 dBm, -84 dBm, -85 dBm, -86 dBm, -91 dBm, -93 dBm, -95 dBm, -96 dBm, -100 dBm

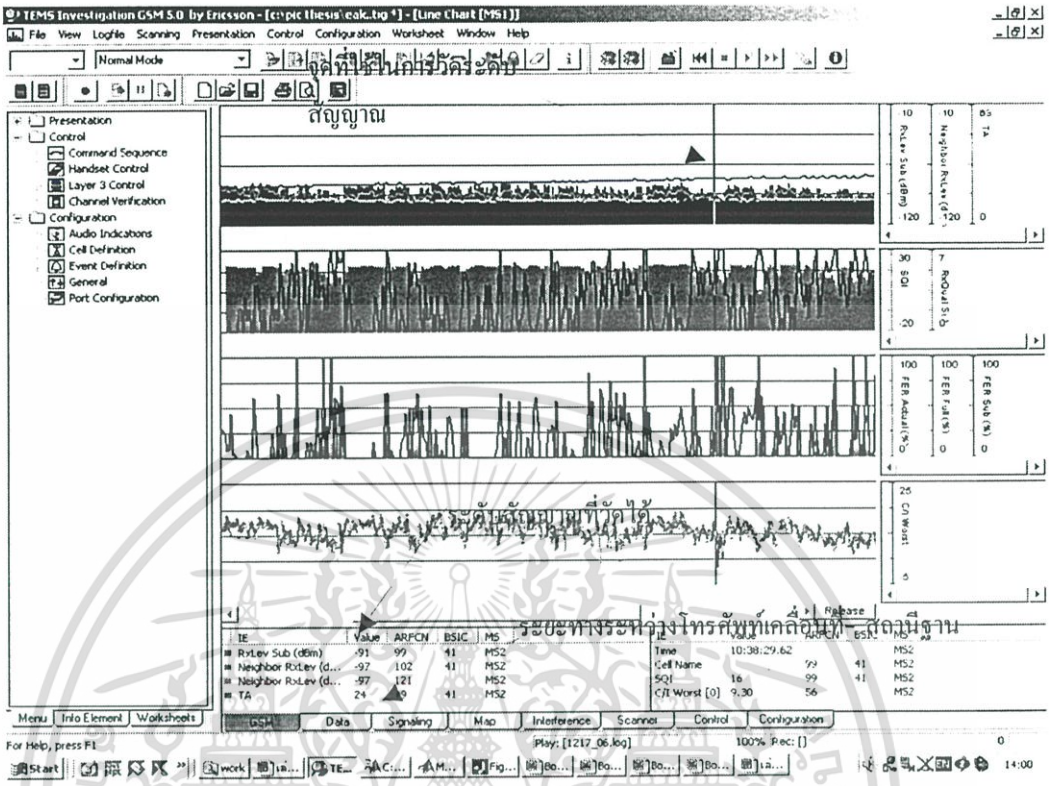
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง11.5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.27 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ -91 dBm ที่ระยะทาง 11.5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 23 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 11.5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ -86dBm, -94 dBm, -87 dBm, -97 dBm, -98 dBm, -99 dBm, -88 dBm, -89 dBm, -86 dBm, -90 dBm, -93 dBm, -95 dBm, -96 dBm, -99 dBm

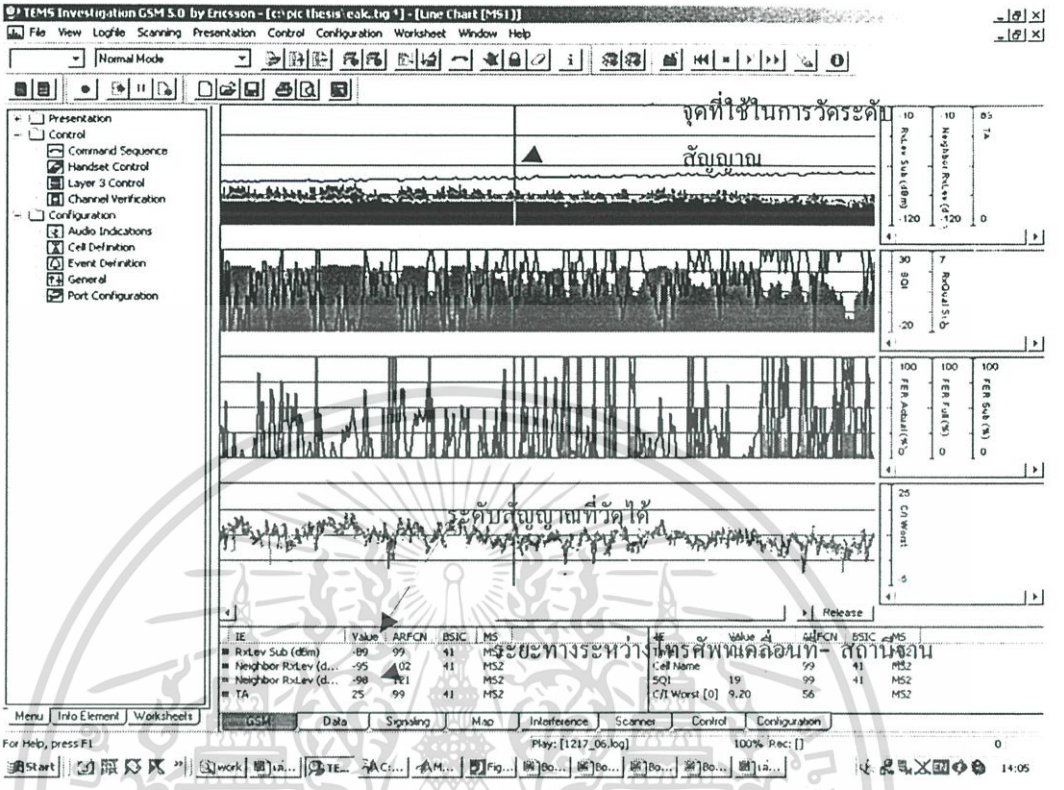
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง12 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.28 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ -91 dBm ที่ระยะทาง 12 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 24 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 12 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้คือ -84 dBm, -94 dBm ,-87 dBm, -97 dBm, -98 dBm, -99 dBm, -84 dBm, -85 dBm, -86 dBm, -91 dBm, -93 dBm, -95 dBm

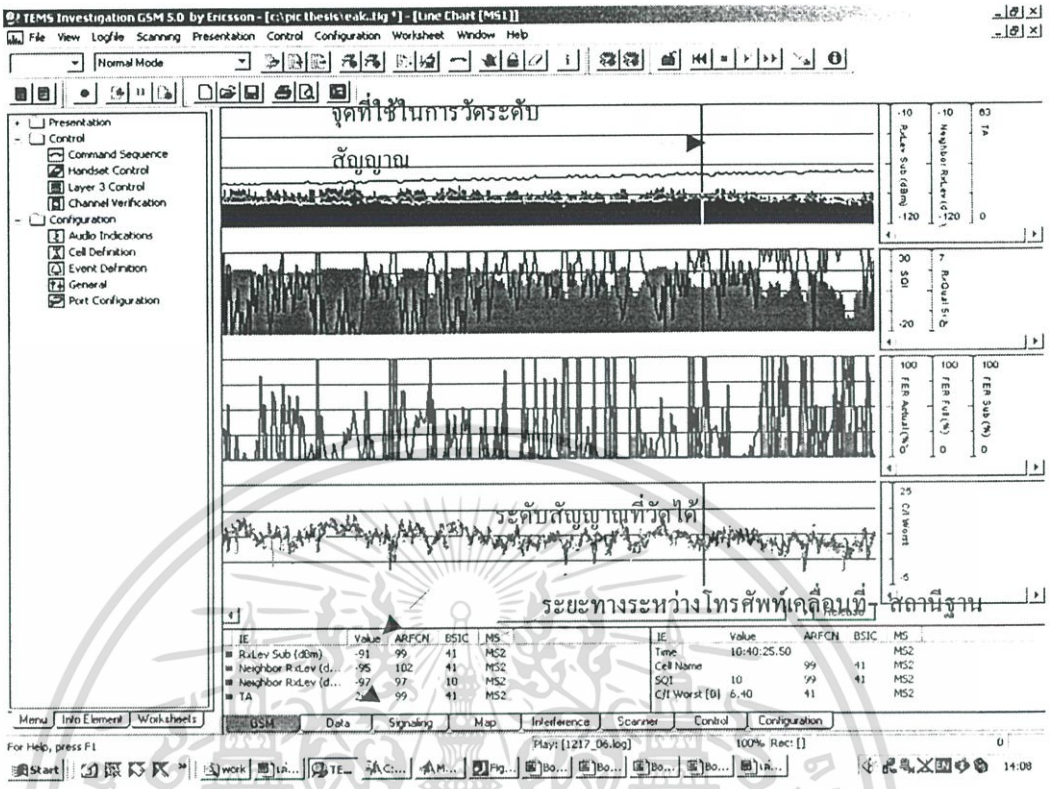
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง12.5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.29 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ -89 dBm ที่ระยะทาง 12.5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 25 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 12 .5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้ –86dBm, -94dBm ,–87dBm, –97dBm, –98dBm, –99dBm, –93dBm, –92dBm, –91dBm, –100dBm, –101dBm, -102 dBm, -103 dBm

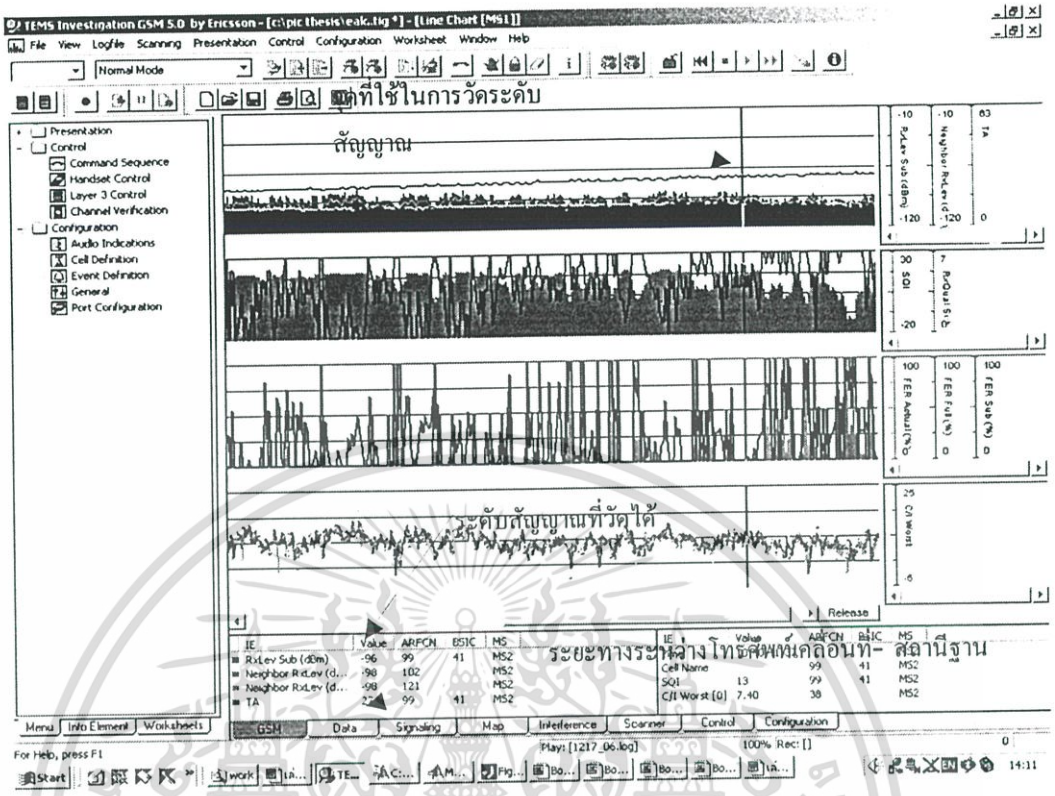
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง13 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.30 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ -91 dBm ที่ระยะทาง 13 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 26 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 13 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้ –90dBm , -91 dBm, -92 dBm, -93 dBm, -94 dBm , -95 dBm, -96 dBm, -97 dBm, -98 dBm, -99 dBm, -100 dBm, -101 dBm

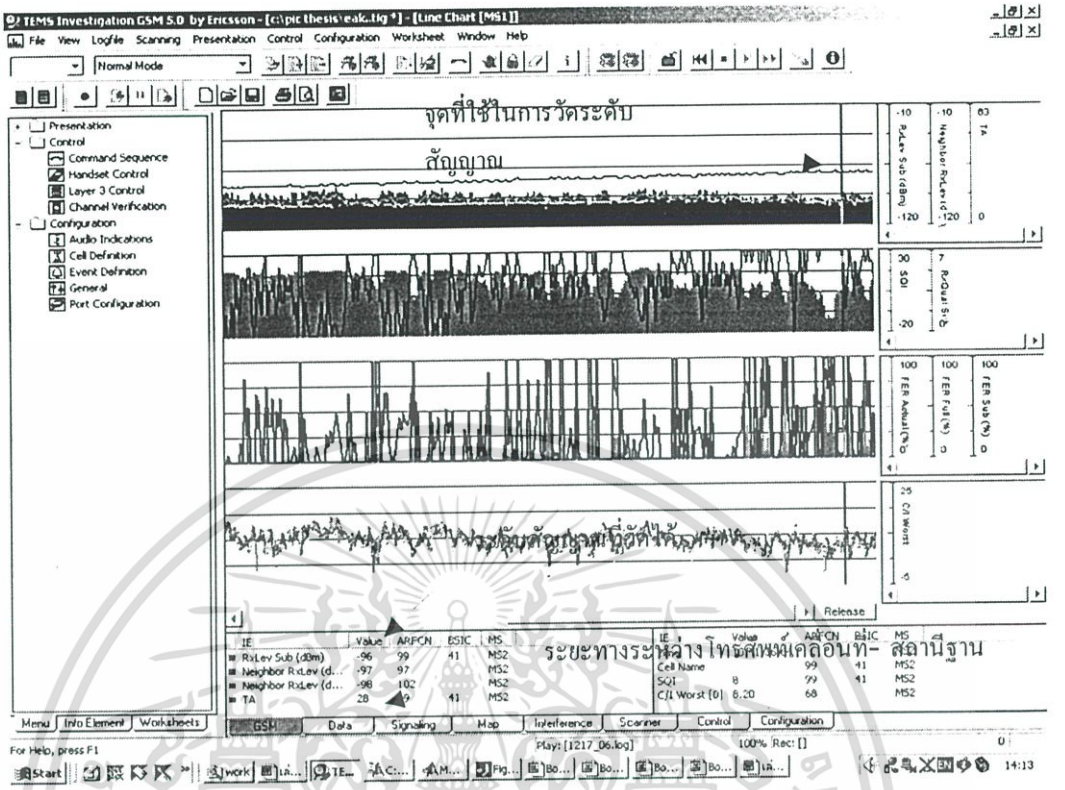
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง13.5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.31 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ -96 dBm ที่ระยะทาง 13.5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 27 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 13.5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้ –93dBm, -94 dBm, -95 dBm, -96 dBm, -97 dBm, -98 dBm, -99 dBm, -100 dBm, -101 dBm

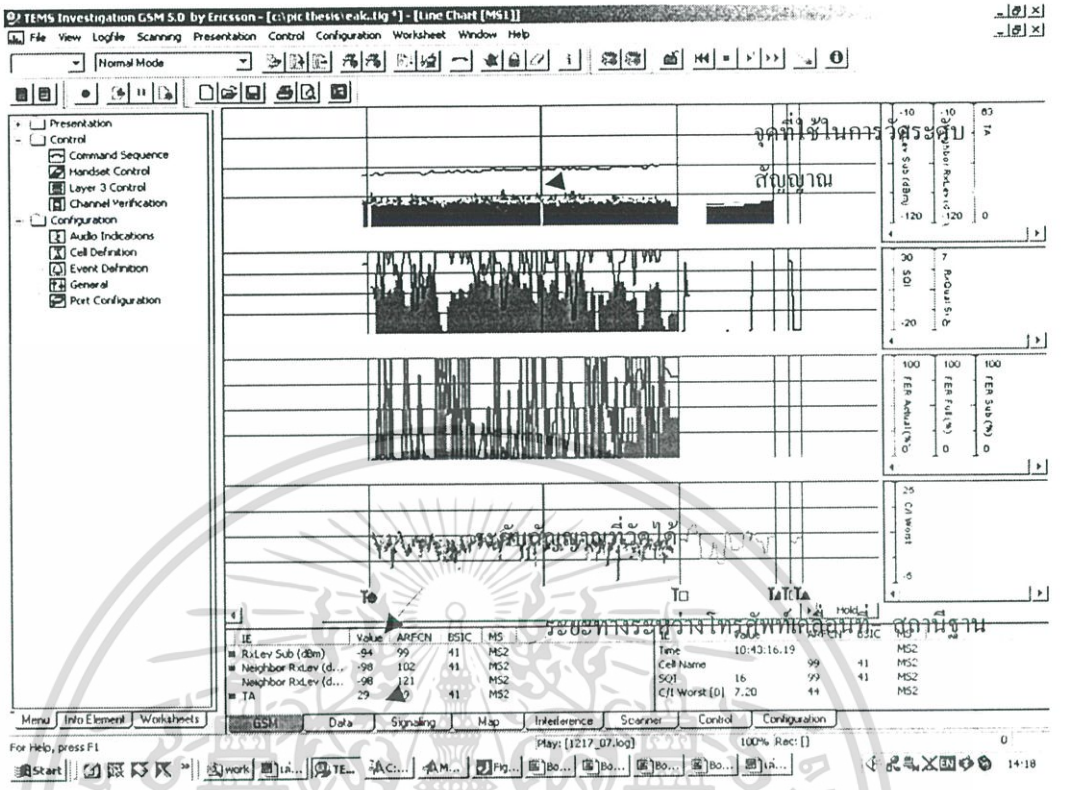
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง14 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.32 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ -96 dBm ที่ระยะทาง 14 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 28 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 14 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้ –92dBm, -93 dBm, -94 dBm, -95 dBm, -96 dBm , -97 dBm, -98 dBm, -99 dBm, -100 dBm, -102 dBm

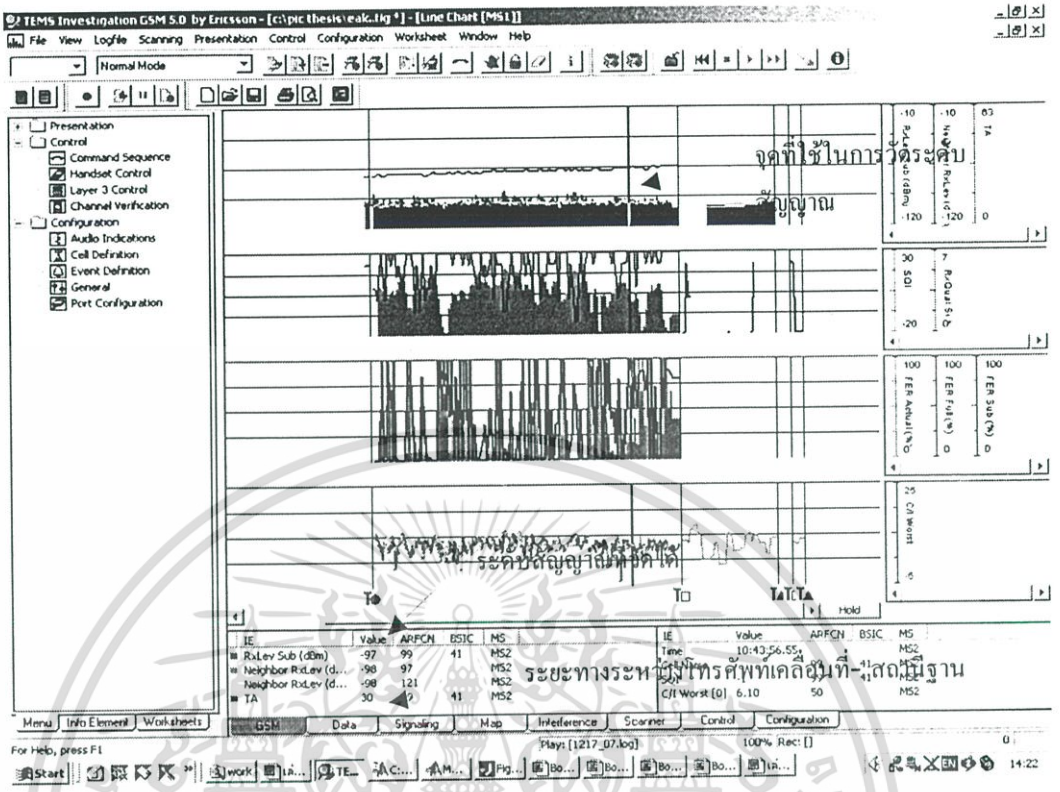
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง14.5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.33 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ -94 dBm ที่ระยะทาง 14.5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 29 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 14.5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้ –94dBm, -93dBm ,-95dBm, –96dBm, -97dBm, -98dBm, -99dBm, -100dBm, –102dBm

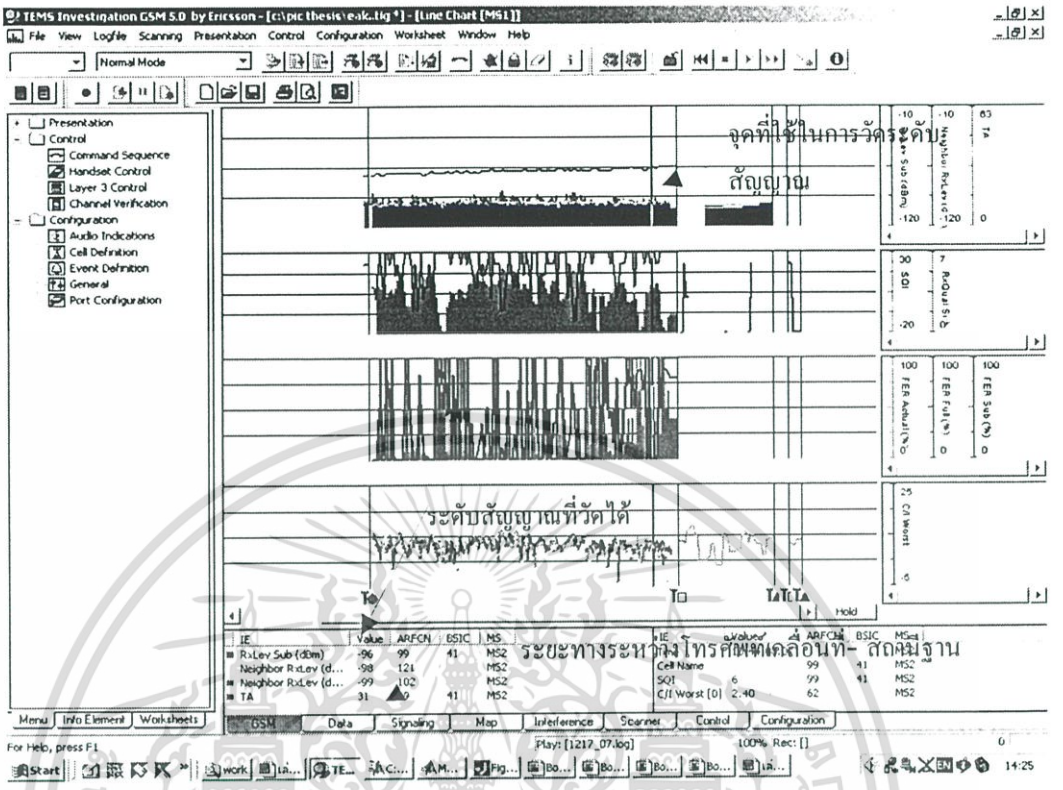
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง15 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.34 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ -97 dBm ที่ระยะทาง 15 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 30 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 15 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้ -94 dBm, -93 dBm, -95 dBm, -96 dBm, -97 dBm , -98 dBm, -99 dBm, -100 dBm, -104 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง15.5 กิโลเมตร

จากรูปที่ 4.35 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ -96 dBm ที่ระยะทาง 15.5 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 31 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทางทั้งหมด 15.5 กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้ -97 dBm, -105 dBm, -103 dBm, -101 dBm , -98 dBm, -99 dBm, -100 dBm, -104 dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งหลังจากระยะทาง 15.5 กิโลเมตรสัญญาณจะหลุดหายเนื่องจากเป็นระยะที่ไกลที่สุดที่ระบบโทรศัพท์จะสามารถติดต่อสื่อสารกันได้และหลังจากนั้นจะนำข้อมูลทั้งหมดซึ่งเป็นระดับสัญญาณและระยะทางนำมา Plot Graph Semilog ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

โปรแกรม Matlab V.6.5 [11]

```
clear all
clc
x=[ 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5 ];
y=[ -66 -67 -72 -76 -76  -75  -76  -80 -80 -80 -82 -79 -81 -84 -83 -85 -83 -86 -89 -90 -92 -93 -94 -
96 -97];
axis([0.1 100 -120 10]);
semilogx(x,y,'*b')
grid on
hold on
x=[0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01];
y=[-49 -52 -52 -56 -53 -54 -57 -58];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.015 0.015 0.01 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015];
y=[-51 -53 -54 -55 -56 -58 -59 -60];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02];
y=[-51 -53 -54 -55 -56 -58 -59 -60];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03];
y=[-51 -53 -54 -55 -56 -58 -59 -60];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
y=[-51 -52 -52 -52 -53 -54 -55 -57];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05];
y=[-59 -53 -52 -59 -57 -58 -59 -55 -58 -54];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06];
y=[-59 -51 -52 -59 -61 -58 -60 -55 -58 -54];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.07 0.07 0.07 0.07 0.07 0.07 0.07 0.07 0.07 0.07];
y=[-59 -53 -53 -59 -59 -58 -60 -55 -58 -54];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08];
y=[-59 -49 -52 -59 -61 -58 -61 -55 -58 -54];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09];
y=[-59 -51 -52 -59 -62 -58 -62 -55 -58 -54];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1];
y=[-58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15];
y=[-59 -52 -52 -59 -61 -58 -60 -55 -58 -54];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
y=[-58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3];
y=[-58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4];
y=[-58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5];
y=[-53 -54 -55 -59 -61 -64 ];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6];
y=[-56 -54 -58 -61 -62 -57 -59];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.7 0.7 0.7 0.7 0.7 0.7 0.7 0.7 0.7 0.7 0.7 0.7];
y=[-56 -55 -58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8];
y=[-58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9];
y=[-58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[1 1 1 1 1 1 1 1 1];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
y=[-58 -59 -63 -64 -65 -66 -67 -68 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5];
y=[-58 -59 -60 -62 -64 -65 -66 -67 -69 -68 -69 -61];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2];
y=[-58 -59 -62 -63 -66 -79 -75 -68 -71 -72  -69 -73 -74];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5];
y=[-61 -64 -65 -66 -67 -68 -69 -73 -70 -72 -74 -76 -77 -79 -80 -81 -83];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3];
y=[-63 -64 -65 -66 -67 -68 -69 -73 -74 -75 -79 -82 -83 -85];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5];
y=[-62 -64 -65 -66 -67 -68 -69 -75 -77 -78 -80 -82 -85 -86 -88 -90];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4];
y=[-65 -70 -75 -77 -78 -79 -80 -82 -83 -85 -87 -89 -91 -92];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5];
y=[-72 -74 -73 -75 -77 -78 -79 -80 -82 -84 -86 -88 -89 -91 -92 -93];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
y=[-72 -74 -73 -75 -77 -78 -79 -80 -82 -85 -90 -92 -94 -87 -89];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[5.5 5.5 5.5 5.5 5.5 5 5 5 5 5 5 5 5 5];
y=[-72 -74 -73 -75 -77 -78 -79 -80 -82 -85 -90 -92 -94 -87 -89];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6];
 y=[-75 -95 -91 -93 -82 -83 -84 -85 -86 -76 -78 -80 -75 -77];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5];
y=[-76 -78 -79 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -98];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7];
y=[-80 -94 -79 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -98];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5];
y=[-80 -89 -87 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -88 -90 -91 -92 -93];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8];
y=[-80 -94 -87 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -95];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5];
y=[-80 -94 -87 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -95];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
y=[-80 -94 -87 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -95];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5];
y=[-80 -94 -87 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -95];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10];
y=[-82 -94 -87 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -97];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5];
y=[-85 -94 -87 -88 -89 -90 -91 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -97];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11];
y=[-83 -94 -87 -97 -98 -99 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -100];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5];
y=[-86 -94 -87 -97 -98 -99 -88 -89 -86 -90 -93 -95 -96 -99];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12];
y=[-84 -94 -87 -97 -98 -99 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -98];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5];
y=[-86 -94 -87 -97 -98 -99 -93 -87 -92 -91 -100 -101 -102 -103];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
y=[-90 -91 -92 -93 -94 -95 -96 -97 -98 -99 -100 -101 -96 -98];


plot(x,y,'*g')
hold on
x=[13.5 13.5 13.5 13.5 13.5 13.5 13.5 13.5 13.5 13.5];
y=[-93 -94 -95 -96 -97 -98 -99 -100 -101 -99 ];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14];
y=[-92 -93 -94 -93 -94 -95 -96 -97 -98 -99 -100 -102 -96 -98];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5];
y=[-94 -93 -94 -93 -94 -95 -96 -97 -98 -99 -100 -102 -96 -98];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15];
y=[-94 -94 -94 -93 -94 -95 -96 -97 -98 -99 -100 -104 -96 -98];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5];
y=[-97 -97 -97 -97 -97 -105 -103 -101 -98 -99 -100 -104 -99 -98];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[16 16 16 16 16 16 16 16 16 16];
y=[-95 -96 -97 -98 -99 -100 -104 -96 -98 -102];clear all
clc
x=[ 3.5 4 4.5 5 5.5 6 6.5 7 7.5 8 8.5 9 9.5 10 10.5 11 11.5 12 12.5 13 13.5 14 14.5 15 15.5 ];
y=[ -66 -67 -72 -76 -76  -75  -76  -80 -80 -80 -82 -79 -81 -84 -83 -85 -83 -86 -89 -90 -92 -93 -94 -
96 -97];
axis([0.1 100 -120 10]);
semilogx(x,y,'*b')
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
grid on
hold on
x=[0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01 0.01];
y=[-49 -52 -52 -56 -53 -54 -57 -58];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.015 0.015 0.01 0.015 0.015 0.015 0.015 0.015];
y=[-51 -53 -54 -55 -56 -58 -59 -60];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02 0.02];
y=[-51 -53 -54 -55 -56 -58 -59 -60];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03 0.03];
y=[-51 -53 -54 -55 -56 -58 -59 -60];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04 0.04];
y=[-51 -52 -52 -52 -53 -54 -55 -57];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05 0.05];
y=[-59 -53 -52 -59 -57 -58 -59 -55 -58 -54];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06 0.06];
y=[-59 -51 -52 -59 -61 -58 -60 -55 -58 -54];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.07 0.07 0.07 0.07 0.07 0.07 0.07 0.07 0.07 0.07];
y=[-59 -53 -53 -59 -59 -58 -60 -55 -58 -54];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08 0.08];
y=[-59 -49 -52 -59 -61 -58 -61 -55 -58 -54];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09 0.09];
y=[-59 -51 -52 -59 -62 -58 -62 -55 -58 -54];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1];
y=[-58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15 0.15];
y=[-59 -52 -52 -59 -61 -58 -60 -55 -58 -54];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2];
y=[-58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3 0.3];
y=[-58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4 0.4];
y=[-58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.5 0.5 0.5 0.5 0.5 0.5];
y=[-53 -54 -55 -59 -61 -64 ];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6 0.6];
y=[-56 -54 -58 -61 -62 -57 -59];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.7 0.7 0.7 0.7 0.7 0.7 0.7 0.7 0.7 0.7 0.7];
y=[-56 -55 -58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8];
y=[-58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9];
y=[-58 -61 -64 -68 -62 -57 -59 -66 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[1 1 1 1 1 1 1 1 1];
y=[-58 -59 -63 -64 -65 -66 -67 -68 -69];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5];
y=[-58 -59 -60 -62 -64 -65 -66 -67 -69 -68 -69 -61];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2];
y=[-58 -59 -62 -63 -66 -79 -75 -68 -71 -72  -69 -73 -74];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5 2.5];
y=[-61 -64 -65 -66 -67 -68 -69 -73 -70 -72 -74 -76 -77 -79 -80 -81 -83];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3];
y=[-63 -64 -65 -66 -67 -68 -69 -73 -74 -75 -79 -82 -83 -85];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5 3.5];
y=[-62 -64 -65 -66 -67 -68 -69 -75 -77 -78 -80 -82 -85 -86 -88 -90];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4];
y=[-65 -70 -75 -77 -78 -79 -80 -82 -83 -85 -87 -89 -91 -92];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5 4.5];
y=[-72 -74 -73 -75 -77 -78 -79 -80 -82 -84 -86 -88 -89 -91 -92 -93];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5];
y=[-72 -74 -73 -75 -77 -78 -79 -80 -82 -85 -90 -92 -94 -87 -89];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[5.5 5.5 5.5 5.5 5.5 5 5 5 5 5 5 5 5 5];
y=[-72 -74 -73 -75 -77 -78 -79 -80 -82 -85 -90 -92 -94 -87 -89];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6];
 y=[-75 -95 -91 -93 -82 -83 -84 -85 -86 -76 -78 -80 -75 -77];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5 6.5];
y=[-76 -78 -79 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -98];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7];
y=[-80 -94 -79 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -98];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5 7.5];
y=[-80 -89 -87 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -88 -90 -91 -92 -93];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8];
y=[-80 -94 -87 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -95];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5 8.5];
y=[-80 -94 -87 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -95];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9];
y=[-80 -94 -87 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -95];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5 9.5];
y=[-80 -94 -87 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -95];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10];
y=[-82 -94 -87 -81 -82 -83 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -97];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5 10.5];
y=[-85 -94 -87 -88 -89 -90 -91 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -97];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

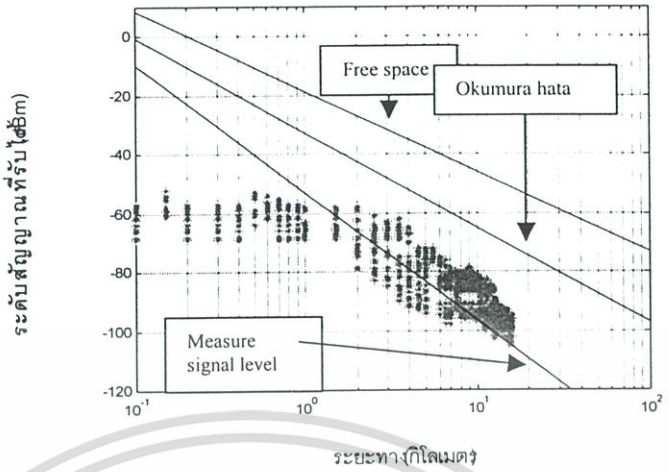
```
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11];
y=[-83 -94 -87 -97 -98 -99 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -100];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5 11.5];
y=[-86 -94 -87 -97 -98 -99 -88 -89 -86 -90 -93 -95 -96 -99];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12];
y=[-84 -94 -87 -97 -98 -99 -84 -85 -86 -91 -93 -95 -96 -98];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5 12.5];
y=[-86 -94 -87 -97 -98 -99 -93 -87 -92 -91 -100 -101 -102 -103];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13];
y=[-90 -91 -92 -93 -94 -95 -96 -97 -98 -99 -100 -101 -96 -98]; plot(x,y,'*g')
hold on
x=[13.5 13.5 13.5 13.5 13.5 13.5 13.5 13.5 13.5 13.5];
y=[-93 -94 -95 -96 -97 -98 -99 -100 -101 -99 ];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14];
y=[-92 -93 -94 -93 -94 -95 -96 -97 -98 -99 -100 -102 -96 -98];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5 14.5];
y=[-94 -93 -94 -93 -94 -95 -96 -97 -98 -99 -100 -102 -96 -98];
plot(x,y,'*g')
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
hold on
x=[15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15];
y=[-94 -94 -94 -93 -94 -95 -96 -97 -98 -99 -100 -104 -96 -98];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5 15.5];
y=[-97 -97 -97 -97 -97 -105 -103 -101 -98 -99 -100 -104 -99 -98];
plot(x,y,'*g')
hold on
x=[16 16 16 16 16 16 16 16 16 16];
y=[-95 -96 -97 -98 -99 -100 -104 -96 -98 -102];
plot(x,y,'*g')
%%%%%Plot line%%%
hold on
x=[0.1 100];
y=[-10 -140];
plot(x,y)
hold on
x=[0.1 100];
y=[8.5 -72];
plot(x,y)
hold on
x=[0.1 100];
y=[-0.5 -97];
plot(x,y)
```

จากโปรแกรมสามารถ Plot Graph Semilog ได้ดังรูปที่ 4.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นทะเล กับการคำนวณโดยโมเดล Okumura Hata (ในพื้นที่โล่ง) และ โมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free Space

นำค่าที่วัดได้ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยมาพล็อตกราฟโดยใช้โปรแกรม matlab ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.36 จากรูปที่ 4.36 เมื่อนำมาคำนวณด้วยโมเดล Okumura Hata ที่นิยมใช้ในการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานสำหรับระบบสื่อสารไร้สายบุคคลมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจะมีความแตกต่างกันมากโดยค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโมเดล Okumura Hata จะมีความชันน้อยกว่าถ้านำไปออกแบบจะได้ระยะทางที่มากกว่าความเป็นจริง ส่วนโมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free Space จะมีค่าความชันที่น้อยกว่าของ Okumura Hata ดังนั้นถ้าเกิดนำไปออกแบบก็จะได้ระยะทางที่มากกว่าของ Okumura Hata และความเป็นจริงมาก ดังนั้นทั้งโมเดล Okumura Hata และ โมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free space จึงไม่เหมาะสมนำมาใช้งานในการหาตำแหน่งในการติดตั้งสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโมเดลการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นในย่านความถี่ 900 MHz ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM เพื่อนำมาใช้ในการหาตำแหน่งในการติดตั้งสถานีฐาน โดยสร้างโมเดลจากผลการวัดทดสอบซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 สมการการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ

การหาค่าระดับสัญญาณที่ได้จากการแพร่กระจายคลื่น เมื่อพิจารณาค่ากำลังงานประสิทธิผลของงการแพร่กระจายคลื่น (ERP:Effective Radiated Power) ซึ่งเท่ากับกำลังงานของเครื่องส่งคูณกับอัตราขยายของสายอากาศ กำลังงานประสิทธิผลในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไอโซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรปิก (EIRP : Effective Isotropic Radiated Power) เมื่อมีกำลังส่งเป็น P_t มีหน่วยเป็น (dBm: EIRP) และมีการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศเครื่องส่งและรับเป็น L มีหน่วยเป็น(dBm) ถ้า A_{eff} คือพื้นที่ในการรับสัญญาณ (absorption cross-section) ของสายอากาศไอโซโทรปิก,P_Uเป็นความหนาแน่นของกำลังงานที่รับได้ กำลังงานที่รับได้เป็นP_r หาได้ผลคูณของความหนาแน่นของกำลังที่รับได้กับพื้นที่ในการรับสัญญาณดังสมการที่ (4.1)

$$P_r = P_U * A_{eff} \tag{4.1}$$

$$P_r\,(\text{dBm}) = P_r\,(\text{dBm/m}^2) * A_{eff}\,(\text{m}^2) \tag{4.2}$$

$$10\log P_r = 10\log P_U + 10\log (A_{eff}) \tag{4.3}$$

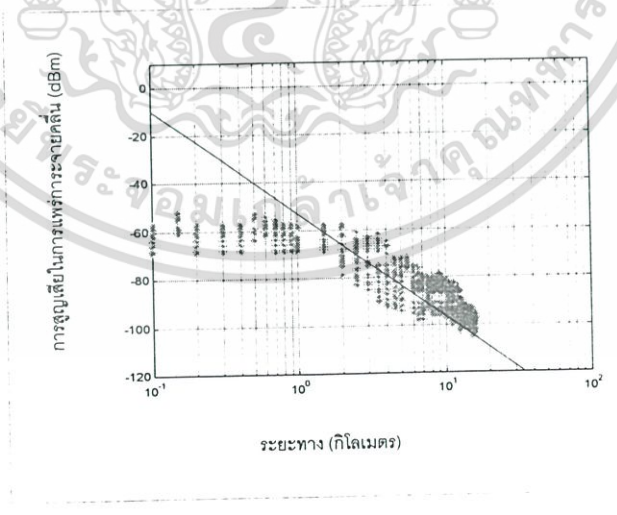
$$P_r\,(\text{dBm}) = P_U(\text{dBm/m}^2) + 10\log (A_{eff}) \tag{4.4}$$

เมื่อ $A_{eff} = \lambda^2/4\pi$, λ เป็นความยาวคลื่น

ความหนาแน่นกำลังงานที่รับได้จะหาได้จากความแรงของสัญญาณที่รับได้หารด้วยอิมพีแดนซ์เสมือนของอากาศจะเขียนสมการได้

$$P_r = P_U + 10\log A_{eff} \tag{4.5}$$

$$= E(\text{dB}\mu\text{V/m}) - 10\log(120\pi) - 90 + 10\log (\lambda^2/4\pi)$$



รูปที่ 4.37 ผลที่ได้จากการวัดในพื้นที่ทะเลกับเส้นกราฟที่ลากที่ค่าเฉลี่ยของผลการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อการลดทอนตามระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นเป็นความแตกต่างระหว่างกำลังงานการแพร่กระจายคลื่นที่ใช้สายอากาศไอโซโทรปิกกับกำลังที่รับได้ จะได้ จากสมการที่ (4.7) เมื่อเทียบความชันของกราฟ L รูปที่ 4.37 สามารถเขียนสมการของ L ได้ดังนี้

$$L(dBm)=P_t(dBm)-P_r(dBm) \quad (4.6)$$

$$= P_t(dBm)-E(dB\mu V/m)-10\log(\lambda^2/4\pi)+145.8 \quad (4.7)$$

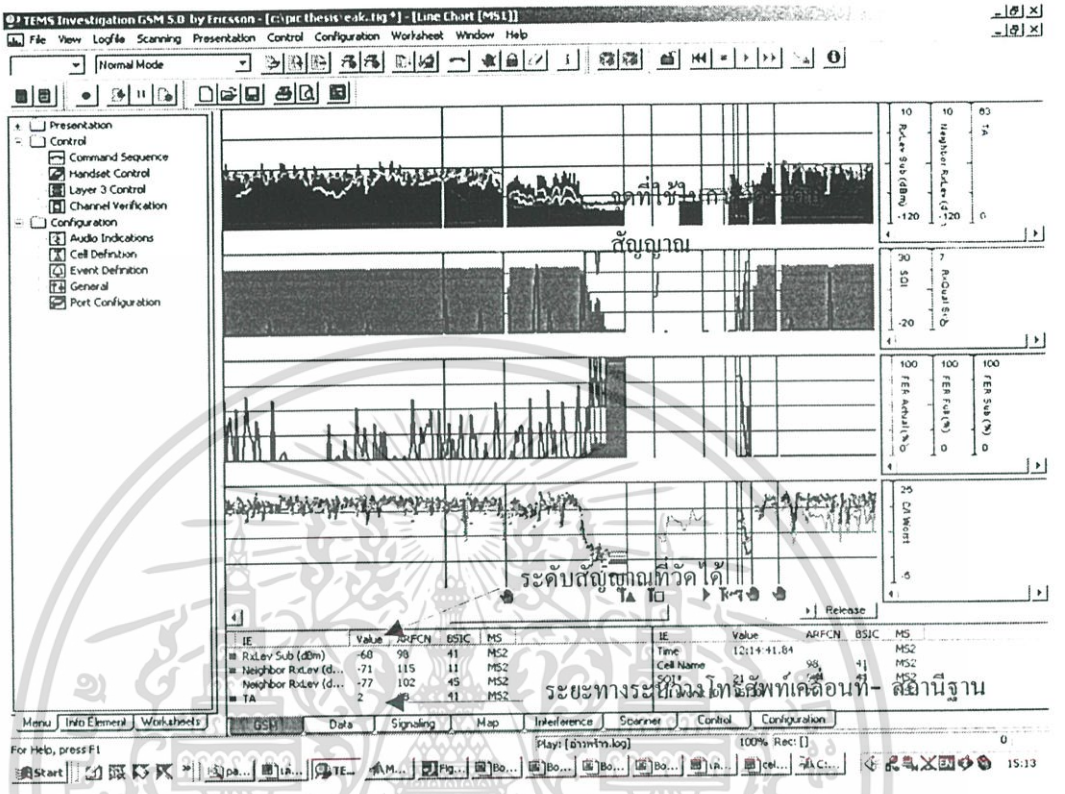
$$L = A + B\log d\ (km) \quad (4.8)$$

$$L(dBm) = P_t(dBm) - P_r(dBm) \quad (4.9)$$

เมื่อ A เป็นค่าลดทอนที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร และ B ค่าความชันของเส้นกราฟที่ระยะทาง 1 กิโลเมตรจากรูปที่ 4.37 ที่ระยะทาง 1 km ค่า P_r = -53 dBm, ค่า P_t = 59 dBm, L = 112dBmที่ 1 km L = A, A=112 dBm

จากนั้นหาค่าความชันของสมการความถี่ที่จะทดลองโดยให้ค่าที่ออกจากตัวส่งมีค่า P_t = 59 dBm และวัดที่ระยะทางที่ 1 กิโลเมตรที่ความถี่ที่ 900 MHzและ 1800 MHz จะวัดผลได้ดังรูปที่ 4.40 ซึ่งผลที่วัดได้ดังรูปที่4.40 จะได้ความชันของกราฟความถี่มีค่า 30 ซึ่งนำมาแทนในสมการ (4.10)ที่ระยะทางที่ 1 กิโลเมตรและสามารถหาค่า A ดังแสดงในสมการ (4.10) ที่ความถี่ 900 MHz ซึ่งจากโปรแกรม Temp Investigation จะสามารถหาข้อมูลได้ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร ที่ 900 MHz และ 1800 MHz

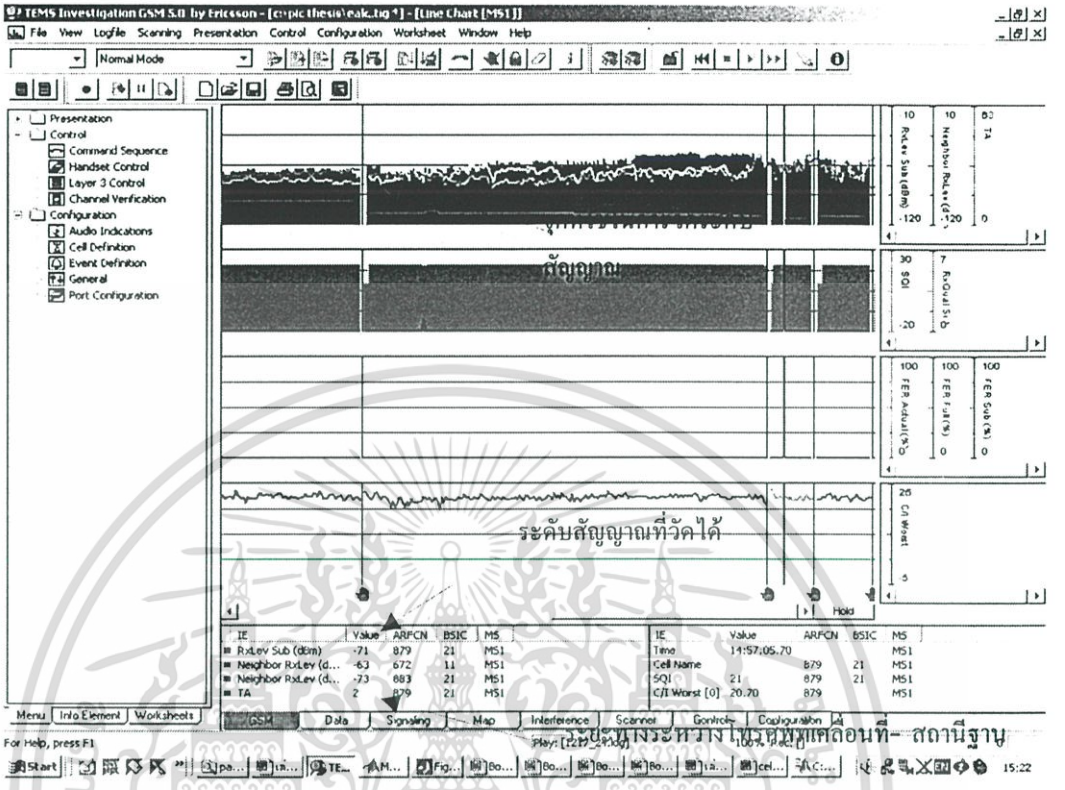
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง1 กิโลเมตร ที่ความถี่ 900 MHz

จากรูปที่ 4.38 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ -68 dBm ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 2 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทาง 1ทั้งหมด กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้ –55dBm, -56 dBm, -57 dBm, -58 dBm, -59 dBm, -62 dBm, -64 dBm, -66 dBm, -68 dBm, -70 dBm, -71 dBm ซึ่งส่งสัญญาณที่สถานีฐาน P_t = 59dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ที่ระยะทาง1 กิโลเมตร ที่ความถี่ 1800 MHz

จากรูปที่ 4.39 ระดับสัญญาณที่วัดได้จากรูปเท่ากับ -71 dBm ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร ซึ่งจากรูปจะได้ TA = 2 แต่โปรแกรม Temp Investigation ระยะทางแท้จริงต้องหาร 2 ซึ่งที่ระยะทาง1 ทั้งหมด กิโลเมตรระดับสัญญาณทั้งหมดที่วัดได้ –66dBm, -67 dBm, -68 dBm, -69 dBm, -70 dBm, -71 dBm, -72 dBm, -73 dBm, -74 dBm, -75 dBm, -76 dBm, -77 dBm, -78 dBm ซึ่งส่งสัญญาณที่สถานีฐาน P_t = 59dBm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

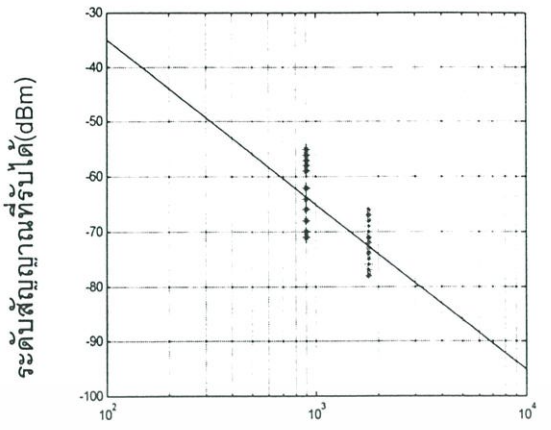
ซึ่งจากข้อมูลที่ได้ในรูปที 4.38 และ 4.39 ซึ่งจะสามารถเขียนโปรแกรม Matlab ได้ดังนี้

โปรแกรม Matlab V6.5

```
clear all
clc
x=[900 900 900 900 900 900 900 900 900 900 900];
y=[-55 -56 -57 -58 -59 -62 -64 -66 -68 -70 -71];
axis([100 10000 -100 0]);
semilogx(x,y,'*b');
grid on
hold on
x=[1800 1800 1800 1800 1800 1800 1800 1800 1800 1800 1800 1800];
y=[-66 -67 -68 -69 -70 -71 -72 -73 -74 -75 -76 -77 -78];
plot(x,y,'*g')
%%%%%Plot line%%%
hold on
x=[100 10000];
y=[-35 -95];
plot(x,y)
```

จากโปรแกรมสามารถ Plot Graph Semilog ได้ดังรูปที่ 4.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.40 ผลที่ได้จากการวัดที่ความถี่ 900 MHz และ 1800 MHz โดยมีค่าตัวส่งที่ P_t = 59 dBm ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร

$$A=112=23.37+30\log f(MHz) \quad (4.10)$$

ค่า B ได้จากกราฟความชันรูปที่ 4.37

$$B = 43.33 \quad (4.11)$$

ซึ่งจะได้สมการ

$$L= 23.37 + 30\log f(MHz) + 43.33\log d(km) \quad (4.12)$$

แต่เนื่องจากค่าPt= 59dBmดังนั้นค่า P_r จะมีค่า = P_t – L ซึ่งจะได้ดังสมการที่ (4.13)

$$P_r=35.63-30\log f(MHz)-43.33\log d(km) \quad (4.13)$$

ซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ความสูงเสาระหว่าง 70 – 80 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

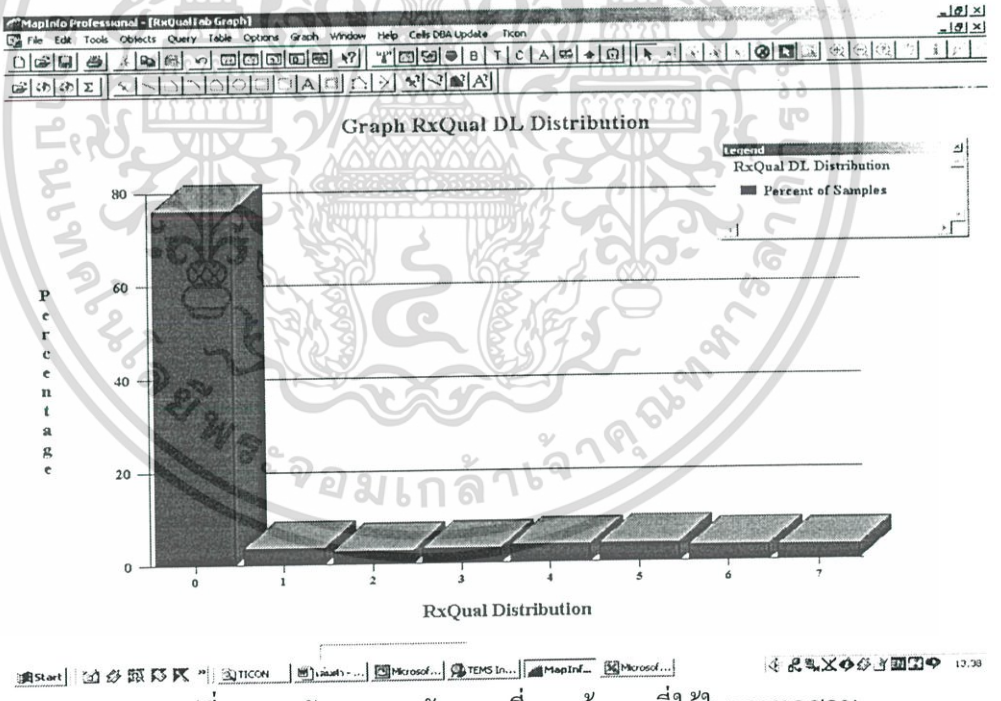
บทที่ 5
การทดสอบผลและผลที่ได้จากการทดสอบ

5.1 บทนำ

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบโมเดลการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ที่เป็นเกาะในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM มาในบทที่ 4 หลังจากนั้นได้ลองทดสอบระดับสัญญาณที่รับได้ที่ระยะทางต่างๆของเส้นทางทั้งหมดที่ทำการวัดซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ ติดตั้งในเรือเร็วและเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 53 Km/Hr จากนั้นเราจะทำการทดสอบประสิทธิภาพด้านต่างๆ ของเส้นทางที่ใช้ในการทดสอบที่ใช้ในการหา Model การออกแบบสถานีฐานและจะนำค่าที่ทดสอบได้ต่างๆ รวมกับ Model ที่หาได้จากสมการ 4.13 นำมาแสดงขอบเขตการใช้งานของโทรศัพท์มือถือ

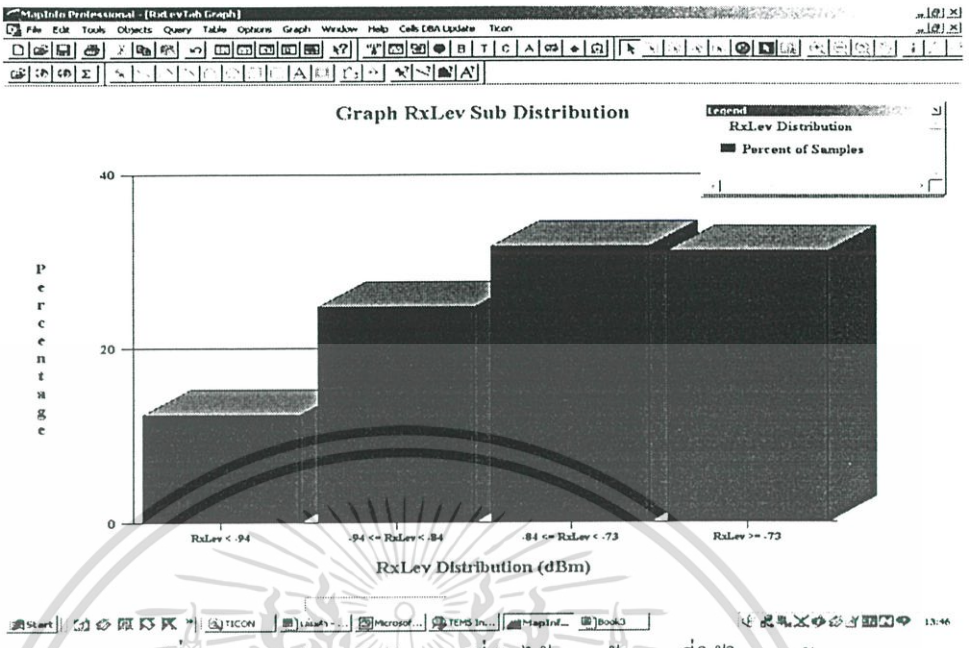
5.2 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบจะทำการทดสอบค่าต่างๆ ที่สามารถวัดได้จากเส้นทางที่ใช้ในการวัด หลังจากนั้นได้นำค่าระดับสัญญาณต่าง ๆ ที่วัดได้จากการทดลองนำมาสร้างเป็นกราฟต่าง ๆได้ดังนี้

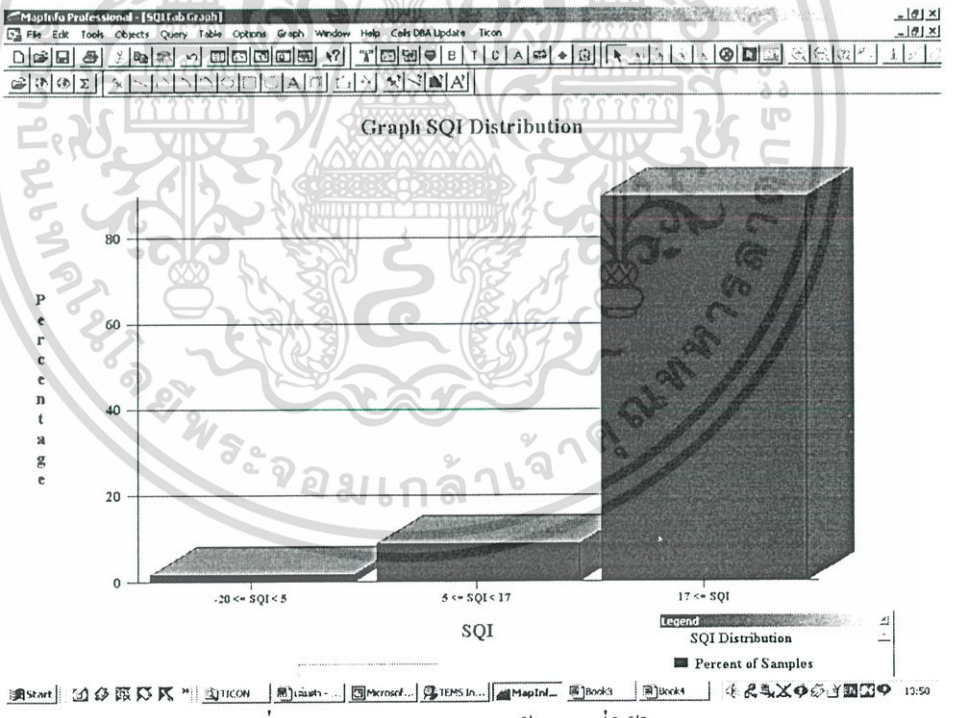


รูปที่ 5.1 ระดับคุณภาพสัญญาณที่ของเส้นทางที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

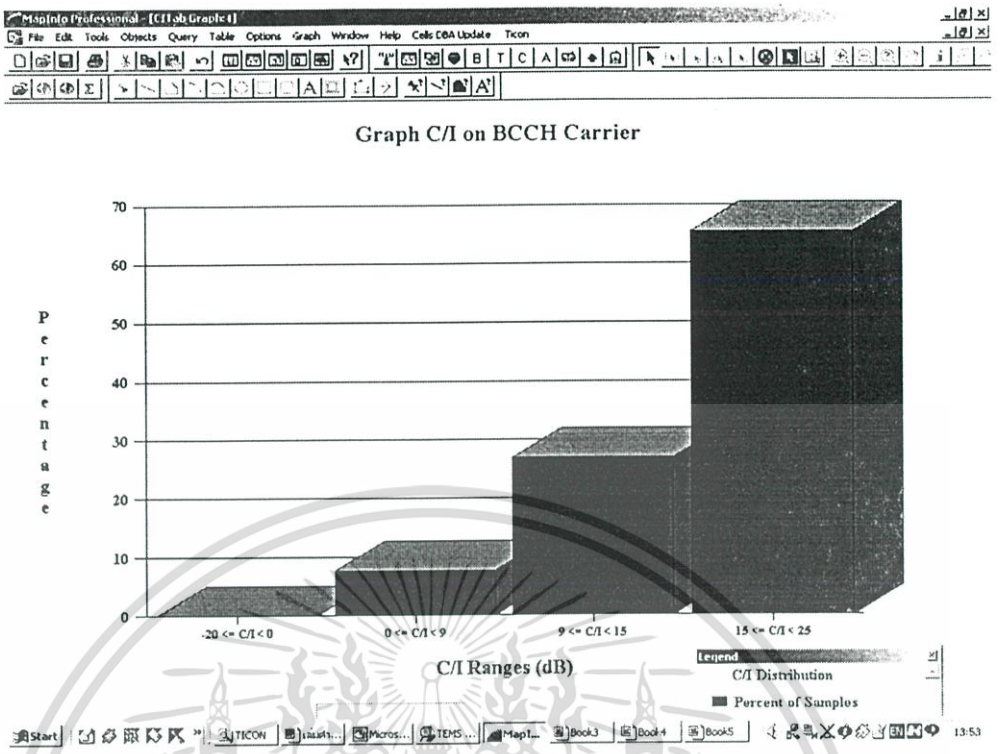


รูปที่ 5.2 แสดงค่าระดับสัญญาณที่รับได้ของเส้นทางที่ใช้ในการวัด



รูปที่ 5.3 แสดงค่า SQI ของเส้นทางที่ใช้ในการวัด

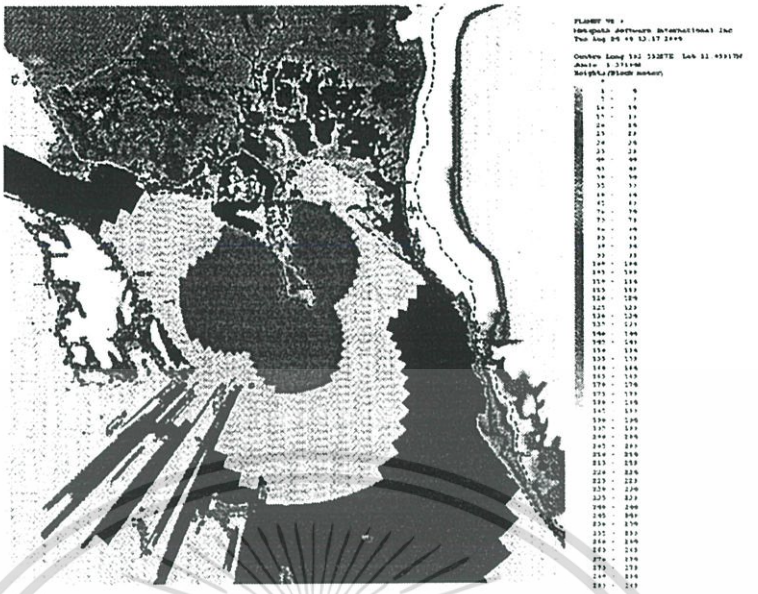
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 แสดงค่า C/I ของเส้นทางที่ใช้ในการวัด

จากสมการที่ 4.13 ได้นำมาใช้ในการออกแบบการครอบคลุมพื้นที่ของสถานีฐานบ้านอ่าวช่อซึ่งจะได้ดังรูปที่ 5.5 ซึ่งใช้โปรแกรม Plan Net ในการสร้างภาพซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะได้นำเสนอสมการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นดังสมการที่ (4.13) และจากคุณสมบัติของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ระดับสัญญาณที่จะสามารถใช้งานได้จะอยู่ที่ Pr = -107 dBm เมื่อแทนในสมการที่ (4.13) จะได้ระยะทาง 17.6 กิโลเมตร ซึ่งระดับสัญญาณที่รับได้ของสถานีฐานที่ติดตั้งบริเวณบ้านอ่าวช่อ ที่ทำการทดลองจะสามารถแสดงได้ดังภาพ contour ของระดับสัญญาณที่รับได้ทั้ง 360 องศาดังรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ภาพ Contourแสดงค่าระดับสัญญาณที่รับได้

รูปที่ 5.5 แสดงระดับสัญญาณที่ระดับต่างๆโดยใช้โปรแกรม Plannet ในการจำลองภาพ



รูปที่ 5.6 แสดงภาพ Contour ของระดับสัญญาณที่ให้บริการได้

รูปที่ 5.6 แสดงภาพ Countour ที่สามารถใช้งานได้โดยใช้โปรแกรม Plannet ในการจำลองภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในรูปที่5.6 จะเห็นได้ว่าโมเดลที่นำเสนอในการทดลองครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการแพร่กระจายคลื่นในย่าน 900 MHz ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM เพื่อสร้างโมเดลการลดทอนตามระยะทางในพื้นที่เกาะดังสมการที่ (4.13) แต่เนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นมีลักษณะไม่เป็นวงกลมเพราะ Antenna ที่ใช้ไม่ได้เป็น Omin direction แต่จะเป็น Sector ซึ่งมี 4 direction และในโมเดลที่นำเสนอนี้จะไม่สามารถใช้สมการของโมเดล Okumura Hata เข้ามาคำนวณได้และเพื่อนำโมเดลที่ได้มาใช้ออกแบบเพื่อหาตำแหน่งสถานีฐานโดยผู้ให้บริการสามารถเลือกติดตั้งสถานีฐานในระดับสัญญาณที่ต้องการในระยะทางต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เข้ามามีส่วนร่วมกับการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้คนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในน่านน้ำทะเลซึ่งปัจจุบันได้กลายเป็นแหล่งเศรษฐกิจและแหล่งท่องเที่ยวที่สำคัญของประเทศ บริษัทผู้ให้บริการต่างก็ทุ่มเทวางแผนการขยายเครือข่ายของตัวเองให้มีรัศมีการครอบคลุมของสัญญาณได้กว้างไกลที่สุด ซึ่งการติดตั้งสถานีฐานในบริเวณที่เป็นเกาะเพื่อให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ในน่านน้ำทะเลจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากเพราะจะสามารถออกแบบการครอบคลุมของพื้นที่การให้บริการได้ และนอกจากนั้นยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งได้เพราะการออกแบบตั้งแต่เริ่มต้นจะสามารถทำให้ลดจำนวนสถานีฐานได้ และการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ที่เป็นเกาะตั้งแต่เริ่มต้นจะยังสามารถช่วยลดปัญหาเรื่องความถี่รบกวน (Interference Frequency) จากช่องสัญญาณข้างเคียง เช่น ความถี่ 900 MHz ที่มีความกว้างของแถบความถี่แคบ ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ต่างๆ เช่น Okumura Hata , Cost 231 Hata และ Walfish และอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ที่เป็นเกาะก็เป็น Model หนึ่งเช่นกันที่จะสามารถช่วยในการออกแบบการติดตั้งในพื้นที่ที่เป็นเกาะซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานด้วยการใช้ขอ้มูลจากการวัดระดับสัญญาณในพื้นที่ที่ไม่มีการรบกวนสัญญาณจากสถานีฐานอื่นนำมาวิเคราะห์ข้อมูลและใช้โปรแกรม Matlab ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบร่วมกับ Model ต่างๆ เช่น Okumura Hata ในพื้นที่ที่เป็นบกโล่ง และ Free Space ซึ่งไม่สามารถใช้ Model Okumura Hata นำมาออกแบบในพื้นที่ที่เป็นเกาะได้ซึ่งจะสามารถนำมาใช้ในการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ที่เป็นเกาะได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.1 สรุปผลการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่เกาะของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM

การออกแบบการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ที่เป็นเกาะของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM จะทดสอบกับและเก็บข้อมูลจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ที่ใช้งานอยู่จริงของ บมจ. แอ็ดวานซ์อินโฟร์เซอร์วิส ที่สถานีฐานบ้านอ่าวช่อ จังหวัด ตราด ซึ่งโดยทำการทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังนี้ คือ สถานีฐานมีกำลังส่ง 44 dBm สายนำสัญญาณมีค่าการลดทอน (feeder loss) 3 dBm (0.038 dBm / เมตร) สายนำสัญญาณยาว 80 เมตร ใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 18 dBi ติดตั้งที่ความสูงในช่วง 70-80 เมตร จากนั้นทำการวัดผลด้วยเครื่องวัดสัญญาณ (Mobile Temp) ซึ่งต้องต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์โน๊ตบุคที่มีโปรแกรม Temp Investigation และต่อสัญญาณจากเครื่องรับ GPS เข้ากับคอมพิวเตอร์โน๊ตบุค เพื่อรับข้อมูลตำแหน่งเพื่อเป็นข้อมูลตำแหน่งพื้นที่ในเส้นทางที่ทำการวัดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นใช้โปรแกรม Map Info เพื่อแปลงข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Temp Investigation นำมาแมป (Mapping) ลงในพื้นที่เส้นทางที่ได้วัดข้อมูล โดยอุปกรณ์ทั้งหมดทำการติดตั้งในเรือเร็วที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 53 Km / Hr จากนั้นก็จะทำการเดินทางวัดระดับสัญญาณในพื้นที่ทะเลช่วงบริเวณเกาะช้าง เกาะกูด และนำข้อมูลที่ได้เป็น log file นำมาเปิดเพื่อดูข้อมูลระดับสัญญาณที่วัดได้โดยใช้โปแกรม Temp Investigation และนำข้อมูลจากโปรแกรม Temp Investigation มา Mapping .ในโปรแกรม Map Info เพื่อดูเส้นทางที่ได้เดินทางวัดระดับสัญญาณและเก็บข้อมูลมาวิเคราะห์ระดับสัญญาณทั้งหมด จากนั้นจะวิเคราะห์ดูเส้นทางที่ไม่มีการรบกวนจากสถานีฐานอื่นเพื่อข้อมูลที่ได้จะมีความถูกต้องแม่นยำ เมื่อได้เส้นทางที่จะสามารถวิเคราะห์และนำข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างแบบจำลอง ก็จะเริ่มต้นที่ระยะทางที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จับใช้งานจากสถานีฐานบ้านอ่าวช่อไปจนระดับสัญญาณที่ไม่สามารถติดต่อกับสถานีฐานได้ (drop call) ซึ่งจะนำข้อมูลที่ระยะทางต่าง ๆ ตั้งแต่ 0 –15.5 กิโลเมตรซึ่งเป็นระยะทางที่วัดระดับสัญญาณที่ใช้งานได้จนสัญญาณขาดการติดต่อและนำข้อมูลที่แต่ระยะทางนั้นมีค่าระดับสัญญาณเท่าไหร่ที่ใช้งานอยู่จริงเมื่อได้ข้อมูลทั้งหมดของทุกระยะทางแล้วจะนำมา Plot Graph Semilog โดยใช้โปรแกรม Mat lab V.6 เมื่อนำมาหาสมการการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานเมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณด้วยโมเดล Okumura Hata ที่นิยมใช้ในการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่กับค่าที่ได้จากการวัดจะมีความแตกต่างกันมากโดยค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโมเดล Okumura Hata จะมีความชันน้อยกว่าถ้านำไปออกแบบจะได้ระยะทางที่มากกว่าความเป็นจริง ส่วนโมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free Space จะมีค่าความชันที่น้อยกว่าของ Okumura Hata ดังนั้นถ้าเกิดนำไปออกแบบก็จะได้ระยะทางที่มากกว่าของ Okumura Hata และความเป็นจริงมาก ดังนั้นทั้งโมเดล Okumura Hata และ โมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free space จึงไม่เหมาะสมนำมาใช้งานในการหาตำแหน่งในการติดตั้งสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM (Gobal System for Mobile Communication) ในบริเวณพื้นที่ที่เป็นเกาะได้จริง

6.2 สรุปปัญหาที่เกิดขึ้น

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการวิจัยนี้ คือ จากเส้นทางที่ได้ทำการวัดระดับสัญญาณทั้งหมดและวิเคราะห์หาเส้นทางที่ไม่มีการรบกวนของสัญญาณจากสถานีฐานอื่นได้แล้ว แต่ในระยะทางจากสถานีฐานบ้านอ่าวช่อตั้งแต่ 0 – 3.5 กิโลเมตร มีสัญญาณรบกวนจากสถานีฐานใกล้เคียงซึ่งทำให้ข้อมูลในช่วงเริ่มต้นนี้ไม่มีความแม่นยำเท่าที่ควร แต่การวิจัยนี้จึงได้หาค่าเส้นเฉลี่ยที่ระยะทาง 3.5-15.5 กิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะทางที่มากพอในการหาการลดทอนของระดับสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยนี้ ได้ทำการวิจัยการลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM ซึ่งเป็นการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานที่ใช้งานได้จริงในพื้นที่ที่เกาะแต่ว่าการวิจัยที่นำเสนอนั้นได้นำเสนอภายใต้เงื่อนไขที่ความสูงของเสาส่งสัญญาณที่ความสูง 70-80 เมตรซึ่งไม่ได้รวมความสูงเสาที่ระดับต่างๆ ไว้ซึ่งในการออกแบบต้องคำนึงถึงความสูงเสาที่ใช้ในการติดตั้งจริงด้วยและนอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปริมาณทราฟฟิกผู้ใช้บริการรวมทั้งชนิดของอุปกรณ์ต่างๆ ของการติดตั้งสถานีฐานอีกทั้งพื้นที่ที่จะดำเนินการขออนุญาตด้วย โดยเมื่อมีการติดตั้งจริงอาจจำเป็นต้องมีการขยับตำแหน่งที่ได้จากการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานในพื้นที่ที่เป็นเกาะไปยังพื้นที่ที่ใกล้เคียงอีกด้วย ส่วนปริมาณทราฟฟิกที่มีการเพิ่มขึ้นก็อาจจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนสถานีฐานเข้าไปแทรกตามจุดต่างๆ เพิ่มเติมได้หรือเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณตรงตำแหน่งสถานีฐานที่ได้มีการออกแบบไว้ตามที่ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ถวิล พึ่งมา. ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ (Cellular Mobile Telephone System). กรุงเทพมหานคร : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2541

[2] J. Wiart, "Micro-cellular modeling when Base Station Antenna is below Roof Tops, "Proc. IEEE Vehicular Technology Congerence, June 1944, Stockholm, pp. 200-204.

[3] J.B. Andersen, T. S. Rappaport, and S. Yoshida, "Propagation Measurements and Models for Wireless Commucation Channels,"IEEE Communication Magazine, January 1995, pp.43-46

[4]. M.Hata. ' Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services" IEEE Trans. On Vehicular Tech., Vol.29, August 1980.pp.317-325

[5]. Euro-Cost 321. "Urban Transmission Loss Models for Small-Cell and Micro-Cell Mobile Radio in the 900 and 1800 MHz Bands," Propagation Model Report No.Cost 231 TD(90) 119, revision 1., Sep. 1991

[6] ประเสริฐ จริงโพธิ์, เอกสารประกอบการบรรยายพิเศษเรื่องระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ดิจิตอล GSM, บริษัท Advance Info Service, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 9 กันยายน พ.ศ. 2541

[7] J.Sarnecki, C. Vinodrai, A. Javed, P. O" Kelly, and K. Dick. Microcell Design Principles" IEEE Communications Magazine. April 1993 pp.76-82

[8] Y. Nagata, et.al., "Measurement and modeling of 2 GHz-band out-of-sight radio propagation characteristics under microcellular environments,"Proc. PIMRC" 91 , Sept.1991 , pp. 341- 346

[9] ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์. "การออกแบบการวางเซลล์สำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายสนธยา มากทรัพย์ เกิดเมื่อวันที่ 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในปี 2543 เข้าทำงานในตำแหน่ง Engineer ที่บริษัท ยูไนเต็ดคอมมูนิเคชั่นอินดัสทรี จำกัด (UCOM) ในปี 2543 และได้ย้ายมาทำงานในตำแหน่ง Senior Engineer ที่บริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์เซอร์วิส จำกัด (AIS) จวบจนปัจจุบัน และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาโทคณะวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้