การออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะ ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

CELL DESIGN FOR PUBLIC SERVICE IN PERSONAL COMMUNICATION TELEPHONE (PCT) SYSTEM

ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์
THANATE PATTANATADAPONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-480-8

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะ ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

CELL DESIGN FOR PUBLIC SERVICE IN PERSONAL COMMUNICATION TELEPHONE (PCT) SYSTEM

ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์

THANATE PATTANATADAPONG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-480-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....33395.....
วัน, เดือน, ปี - 2 ส.ค. 2542

CELL DESIGN FOR PUBLIC SERVICE IN PERSONAL COMMUNICATION TELEPHONE (PCT) SYSTEM

THANATE PATTANATADAPONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICTAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ISBN 974-622-480-8

COPYRIGHT 1999

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที
นักศึกษา	นาย ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์
รหัสประจำตัว	39061096
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2542
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ถวิล พึ่งมา

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบการวางเซลสเตชั่น (Cell Station : CS) ที่เหมาะสมสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (PCT : Personal Communication Telephone) ด้วยการคำนวณหาพื้นที่ครอบคลุมเซล และระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่น โดยนำค่าการลดทอนของสัญญาณในย่านความถี่ 1900 MHz จากสมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นในประเทศไทย มาทำการพิจารณาร่วมกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น กำลังส่งของเซลสเตชั่น ความไวในการรับของเครื่องพีซีที ระดับของสัญญาณที่ใช้สำหรับการข้ามเซล ซึ่งจะใช้เทคนิคการแฮนด์โอเวอร์ (Handover) และความสูงในการติดตั้งเซลสเตชั่น เป็นต้น จากนั้นได้นำค่าที่ได้จากการคำนวณมาทำการออกแบบและติดตั้งทดสอบในระบบที่ใช้งานอยู่จริงในปัจจุบัน นอกจากนั้นยังได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างทฤษฎีกับการทดลอง และนำผลที่ได้มาใช้ในการปรับปรุงการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งานในประเทศไทย เพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีที่สุดสำหรับการให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Cell design for public service in Personal Communication Telephone (PCT) system
Student	Mr. Thanate Pattanatadapong
Student ID.	39061096
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	1999
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Tawil Paungma

ABSTRACT

This thesis presents the cell station layout which suitable for public service in Personal Communication Telephone (PCT) system. The cell coverage area and distance between cell station were calculated with focus on the following factors such as the propagation path loss in the 1900 MHz frequency band from the propagation path loss equation which adjusted to suit to the environment which take effect with the wave propagation in Thailand, cell station output power, sensitivity of personal station, handover level and height of cell station installation. The calculation result will be used to design and testing system which works currently. Besides, the comparison result between the theoretical and practical will be used to adjust the cell station layout to suit to the environment and best quality for public service in Personal Communication Telephone (PCT) system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถจัดทำให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็เพราะได้รับความเมตตากรุณาจากท่าน รศ. ดร. ถวิล พึ่งมา และ ท่าน ศ. มนูญ สุขเกษม ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาที่ดีกับข้าพเจ้ามาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกทราบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านทั้งสองเป็นอย่างมาก และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้โอกาสและสนับสนุนในด้านการศึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด จนกระทั่งได้สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิตนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และสั่งสอนให้กับข้าพเจ้าในทุกระดับชั้น

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ ๆ และน้องๆ ทุกคน ในห้อง T-201 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่เป็นกำลังใจและคอยช่วยเหลือให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุด ความรู้และประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบความดีที่ได้ให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

คำย่อและสัญลักษณ์ XI

บทที่ 1. บทนำ..... 1

1.1 วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย..... 2

1.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบัน..... 3

1.2.1 ระบบ CT-2..... 6

1.2.2 ระบบ DECT..... 7

1.2.2.1 โครงสร้างของระบบ DECT..... 9

1.2.3 ระบบ PACs 10

1.2.3.1 โครงสร้างโครงข่ายของระบบ PACS 11

1.2.3.2 การเชื่อมต่อของระบบ PACS 12

1.2.4 ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS 14

1.2.4.1 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS 15

1.2.4.2 การใช้งานแถบความถี่ในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS 16

1.2.4.3 ลักษณะการทำงานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS 17

บทที่ 2. ทฤษฎีเบื้องต้นของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที..... 19

2.1 โครงสร้างของโครงข่ายของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที 19

2.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที 21

2.2.1 มาตรฐานการทำงาน 21

2.2.2 การใช้งานความถี่ 21

2.2.3 ลักษณะการทำงาน 23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.3.1 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณดิจิตอล 23

2.2.3.2 วิธีการมอดูเลทสัญญาณ 24

2.2.3.3 การข้ามเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีที 24

2.2.3.4 ระบบโปรโตคอลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีที. 26

2.2.3.5 รายละเอียดของเซลสเตชั่นและเครื่องลูกข่าย (เครื่อง PS) 27

2.2.3.6 สายอากาศของเซลสเตชั่นระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล PCT .. 31

2.3 กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีที 33

2.4 หลักการแพร่กระจายคลื่น 33

2.4.1 การลดทอนของสัญญาณใน Free Space 33

2.4.2 วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ 36

2.4.2.1 วิธีคาดคะเนการลดทอนของสัญญาณของ Okumura 36

2.4.2.2 วิธีคาดคะเนการลดทอนของสัญญาณของ Hata 38

2.5 พื้นที่ครอบคลุมเซล 40

2.5.1 การหาขนาดพื้นที่ครอบคลุมเซลโดยวิธีการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด 40

2.5.1.1 สภาวะมาตรฐาน 41

2.5.1.2 การหาเดริฟของการคาดคะเนแบบพื้นที่ต่อพื้นที่จากสิ่งก่อสร้าง ที่มนุษย์สร้างขึ้น 41

2.5.2 สูตรทั่วไปในการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด 42

บทที่ 3 การออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีที 44

3.1 ขั้นตอนการออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพา ส่วนบุคคลพีซีทีที 45

3.1.1 การปรับปรุงสมการการลดทอนของสัญญาณให้เหมาะสม กับสภาพแวดล้อมและการใช้งานในประเทศไทย 45

3.1.2 การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ 51

3.1.3 การคำนวนขนาดพื้นที่ครอบคลุมเซลของเซลสเตชั่นขนาดต่างๆ 53

3.1.4 การเลือกขนาดของเซลสเตชั่นให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน 53

3.1.4.1 การเลือกใช้งานเซลสเตชั่นแต่ละขนาดและ ลักษณะการติดตั้งให้เหมาะสมกับพื้นที่เขตชานเมือง 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.4.2 การเลือกใช้งานเซลสเตชั่นแต่ละขนาดและ
ลักษณะการติดตั้งให้เหมาะสมกับพื้นที่เขตถนนไฮเวย์ 55
3.1.4.3 การเลือกใช้งานเซลสเตชั่นแต่ละขนาดและลักษณะการติดตั้ง
ให้เหมาะสมกับพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง หรือย่านธุรกิจ 56
3.1.5 การพิจารณาผลกระทบจากสภาพแวดล้อมต่อการใช้งานโทรศัพท์ 58
3.1.5.1 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ 58
3.1.5.2 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้ 58

บทที่ 4 การทดลองการออกแบบการวางเซลของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที61
4.1 โปรแกรมการออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์
พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที 61
4.1.1 โครงสร้างของโปรแกรมการออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์
พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT 61
4.1.2 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม 62
4.2 การทดลองผลการออกแบบการวางเซลในพื้นที่จริง 65
4.3 การออกแบบเซลในเขตชานเมือง 66
4.4 การออกแบบเซลในเขตถนนไฮเวย์ 67
4.5 การออกแบบการวางเซลในเขตที่มีการจราจรคับคั่ง 68

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 70
5.1 ผลการออกแบบเซลในพื้นที่ต่างๆ 70
5.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลแตกต่างของการออกแบบการวางเซล
ที่ได้จากการคำนวนและการทดลอง 71
5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบ 71
5.4 สรุปและข้อเสนอแนะ 71

บรรณานุกรม 73
ภาคผนวก ก 75
ภาคผนวก ข 85
ประวัติผู้เขียน 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1 .1 แสดงคุณสมบัติของระบบ CT-2..... 7

1.2 แสดงคุณสมบัติของระบบ DECT 8

1.3 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของระบบ PACS 13

1.4 แสดงการใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS 16

1.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารส่วนบุคคลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน 18

2.1 การใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที..... 22

3.1 แสดงคุณสมบัติของเซลสเตชั่นที่ใช้สำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะ
ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที 52

3.2 แสดงคุณสมบัติของเครื่องลูกข่ายที่ใช้สำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะ
ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที..... 53

3.3 แสดงการใช้งานและลักษณะการติดตั้งเซลสเตชั่นแต่ละขนาด
สำหรับพื้นที่เขตชานเมือง..... 55

3.4 แสดงการใช้งานและลักษณะการติดตั้งเซลสเตชั่นแต่ละขนาด
สำหรับพื้นที่เขตถนนไฮเวย์ 56

3.5 แสดงการใช้งานและลักษณะการติดตั้งเซลสเตชั่นแต่ละขนาด
สำหรับพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง 57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 แสดงแบบจำลองของโครงข่าย FPLMTS ที่มีอินเตอร์เฟส 4 รูปแบบ 4

1.2 แสดงแถบความถี่ใช้งานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับอนาคต FPLMTS และความถี่ในย่านใกล้เคียง 5

1.3 แสดงการส่งสัญญาณในรูปแบบของ WLL โดยใช้ระบบ DECT 9

1.4 แสดงโครงสร้างเฟรมของระบบ DECT 9

1.5 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายในระบบ DECT 10

1.6 โครงสร้างโครงข่ายของระบบ PACS 12

1.7 ลักษณะของไทม์สล็อตและโครงสร้างของเฟรมของระบบ PACS 13

1.8 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS 14

1.9 แสดงโครงสร้างโครงข่ายของระบบโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS 16

2.1 แสดงโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที 20

2.2 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที 21

2.3 แสดงบล็อคไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด 23

2.4 แสดงการจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD 23

2.5 แสดงการแฮนด์โอเวอร์ทั้ง 3 แบบ ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที 25

2.6 แสดงระดับของสัญญาณที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ข้ามเซลหนึ่งไปอีกเซลหนึ่ง 25

2.7 แสดงระดับชั้นของโปรโตคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดของสัญญาณควบคุม 26

2.8 ลำดับการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที 27

2.9 แสดงโปรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลหนึ่งไปยังอีกเซลหนึ่ง 28

2.10 แสดงโปรโตคอลของการกลับมาใช้เซลเดิมเมื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ไม่สำเร็จ 29

2.11 แสดงเซลสเตชั่นของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที 30

2.12 แสดงเครื่อง PS ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที 30

2.13 บล็อคไดอะแกรมแสดงการทำงานของเซลสเตชั่นของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที 31

2.14 บล็อคไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่อง PS ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที 31

2.1.5 แสดงสายอากาศแบบ 2 dBi 4 dBi 7 dBi และ9 dBi 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.16 แสดงการครอบคลุมของสายอากาศแต่ละชนิด	32
2.17 แสดงเส้นทางการเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออกจากโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีที	33
2.18 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิค	34
2.19 ค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการลดทอนสัญญาณ A(f,d)	37
2.20 ค่าแฟคเตอร์ $G_{(AREA)}$ ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของพารามิเตอร์ A(f,d)	38
2.21 เปรียบเทียบค่าของการลดทอนเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในพื้นที่ต่างๆ	42
3.1 ค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการลดทอนสัญญาณ A(f,d)	46
3.2 ค่าแฟคเตอร์ $G_{(AREA)}$ ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของพารามิเตอร์ A(f,d)	46
3.3 แสดงลักษณะการลดทอนของสัญญาณในเขตพื้นที่ย่านชานเมือง บริเวณถนนอ่อนนุช	47
3.4 แสดงเดิร์ฟของการลดทอนของสัญญาณจากสมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น	50
3.5 แสดงการเปรียบเทียบเดิร์ฟของการลดทอนของสัญญาณระหว่างสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space, สมการของ Hata, สมการที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้นกับค่าที่วัดได้จริง	50
3.6 แสดงลักษณะการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 20 mW	51
3.7 แสดงลักษณะการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 200 mW	51
3.8 แสดงลักษณะการใช้งานเซลสเตชั่นและลักษณะวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่เขตชานเมือง	55
3.9 แสดงลักษณะการใช้งานเซลสเตชั่นและลักษณะวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์	56
3.10 แสดงลักษณะการใช้งานเซลสเตชั่นและลักษณะวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง	57
3.11 คุณลักษณะของสภาพแวดล้อมของต้นไม้	59
3.12 การสูญเสียเนื่องจากใบไม้ในเขตชานเมือง	60
4.1 แสดงบล็อคไดอะแกรมของโปรแกรมในการออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะ	62
4.2 แสดงหน้าต่างที่ใช้กำหนดมิติในการแสดงผล	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งนี้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 แสดงหน้าต่างที่ใช้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ	63
4.4 แสดงหน้าต่างที่ใช้ในการโหลดข้อมูล กำหนดระยะทางและ Step ในการวัด	64
4.5 แสดงผลที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 3.6 โดยใช้โปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบขึ้น ..	64
4.6 แสดงเครื่องมือวัดค่าระดับสัญญาณในการทดลอง	65
4.7 แสดงผลการออกแบบการวางเซลในพื้นที่เขตชานเมือง บริเวณถนนรัชดาภิเษก (กม.ที่ 1 ถึง กม.ที่ 3)	66
4.8 แสดงค่าระดับสัญญาณที่รับได้ พื้นที่ครอบคลุมเซล และการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณ ระหว่างเซลข้างเคียงในพื้นที่เขตชานเมือง บริเวณถนนรัชดาภิเษก	67
4.9 แสดงผลการออกแบบการวางเซลในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์ บริเวณถนนบางนา-ตราด (กม.ที่ 1 ถึง กม.ที่ 3)	67
4.10 แสดงค่าระดับสัญญาณที่รับได้ พื้นที่ครอบคลุมเซล และการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณ ระหว่างเซลข้างเคียงในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์บริเวณถนนบางนา-ตราด(กม.ที่ 1 ถึง กม.ที่ 3)	68
4.11 แสดงผลการออกแบบการวางเซลในพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง บริเวณถนนสีลม	69
4.12 แสดงค่าระดับสัญญาณที่รับได้ พื้นที่ครอบคลุมเซล และการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณ ระหว่างเซลข้างเคียงในพื้นที่เขตที่มีการจราจรหนาแน่น	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

PCS : Personal Communication System

PACS : Personal Access Communication System

DECT : Digital European Cordless Telephone

PHS : Personal Handy-phone System

CT-2 : Cordless Telephone-2

FCC : Federal Communication Commission

PCT : Personal Communication Telephone

IN : Intelligent Network

ITU : International Telecommunication Union

FPLMTS : Future Public Land Mobile Telecommunication System

MS : Mobile Station

BS : Base Station

PS : Personal Station

CS : Cell Station

PES : Personal Earth Station

MES : Mobile Earth Station

PBS : Paging Base Station

WP : Wide area Pager

FDMA : Frequency Division Multiple Access

TDMA : Time Division Multiple Access

TDD : Time Division Duplex

BER : Bit Error Rate

GFSK : Gausian filtered binary frequency-shift keying

ADPCM: Adaptive Differential Pulse Code Modulator

ETSI : The European Telecommunications Standards Institute

OSI : Open System Interconnection

ISDN : Integrated Service Digital Network

GSM : Global System Mobile

CRC 16 : Cyclic Redundancy Check 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WLL : Wireless Local Loop

RBS : Radio Base Station

RDU : Radio Distribution Unit

OMS : Operation and Maintenance System

TMN : Telecommunication Management Network

FDD : Frequency Division Multiplex

LECs : Local Exchange Carriers

WACS : Wireless Access Communication System

FCC : Federal Communications Commission

PBX : Private Branch Exchange

CENTREX: Central Office Exchange Service

SU : Subscriber Unit

RP : Radio Ports

RPCU : Radio Ports Control Unit

AM : Access Manager

EOC : Embedded Operations Channel

CS : Cell Station

PSTN : Public Switched Telephone Network

SCP : Service Control Point

SS7 : Signaling System No.7

WARC-92: World Administrative Radio Conference-92

TOT : Telephone Organization of Thailand

TA : Telecom Asia Co., Ltd.

TTC : Telecommunications Technology Committee

ARIB : The Association of radio industries and Businesses

$\pi/4$ QPSK: $\pi/4$ Quadrature Phase Shift Keying

SSP : Service Switching Point

HLR : Home Location Register

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปัจจุบันระบบ PCS (Personal Communication System)[1] หรือระบบการสื่อสารส่วนบุคคล กำลังเป็นระบบที่ได้รับความสนใจอย่างมาก ตัวอย่างของระบบ PCS ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ก็คือ ระบบ PACS (Personal Access Communication System)[2] ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone)[3] และระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS (Personal Handy-phone System)[4] เป็นต้น สำหรับระบบ PCS นั้นเป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี 1990 โดยเป้าหมายสำคัญของการใช้ระบบ PCS ก็คือ ความต้องการในการใช้งานที่เป็นส่วนตัวหรือใช้งานในหน่วยงานขนาดเล็ก เช่น การใช้งานในรูปแบบของ Wireless Local Loop หรือการใช้งานในแบบ Wireless PBX หรือการใช้งานในแบบ Cordless Telephone เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องการให้ตัวเครื่องโทรศัพท์มีขนาดเล็กสามารถพกพาติดตัวได้สะดวก สามารถสื่อสารแบบ 2 ทิศทางได้ และมีการวางสถานีฐานที่ไม่ยุ่งยากมากนัก ในการพัฒนาระบบ PCS นั้นมีพื้นฐานมาจากระบบ CT-1 และ CT-2 (Cordless Telephone)[5] ซึ่งเป็นเทคโนโลยีจากกลุ่มประเทศในแถบยุโรปที่มีข้อดีตรงที่มีการใช้งานในช่วงความถี่ที่สูงและมีแถบความถี่ที่กว้างมาก ทำให้สามารถจัดสรรช่องสัญญาณได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการ สำหรับความถี่ที่ใช้ในระบบ PCS นั้นจะใช้มาตรฐานที่กำหนดโดย FCC (Federal Communications Commission) ซึ่งในระบบ PCS จะมีการใช้งานความถี่ อยู่ 2 ช่วงคือ ในช่วงแรกจะใช้ความถี่ในย่าน 1,900 MHz โดยจะใช้ความถี่ช่วง 1,850-1,910 MHz ในการรับสัญญาณ และใช้ความถี่ช่วง 1930-1,990 MHzในการส่งสัญญาณ ซึ่งจะเห็นว่ามีช่วงความถี่ที่ใช้งานได้ถึงด้านละ 60 MHz ทำให้สามารถใช้ช่องสัญญาณได้ถึง 2,000 ช่อง สำหรับช่วงความถี่ที่ 2 จะใช้งานความถี่ช่วง 2,130-2,150 MHzในการรับสัญญาณ และใช้ความถี่ช่วง 2,180-2,200 MHz ในการส่งสัญญาณ ซึ่งมีช่วงความถี่ใช้งานด้านละ 20 MHz ทำให้สามารถใช้ช่องสัญญาณได้ถึง 666 ช่องสัญญาณ นอกจากนี้ในแถบความถี่ของระบบ PCS ยังได้ถูกแบ่งออกเป็นแถบความถี่ย่อยๆ ช่วงละ 5-15 MHz เพื่อความสะดวกสำหรับการแบ่งการใช้งานในรูปแบบต่างๆ เช่น การใช้งานเป็น Cordless Telephone การใช้งานแบบ Wireless PABX การใช้งานแบบ Wireless Local Loop หรือการใช้งานในรูปแบบของโทรศัพท์เคลื่อนที่ และยังสามารถให้บริการได้หลายผู้ให้บริการอีกด้วย แต่ด้วยการใช้งานในช่วงความถี่ที่สูงมากของระบบ PCS ซึ่งเทียบเท่ากับความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารดาวเทียม จึงทำให้ขนาดพื้นที่ครอบคลุมเซลแต่ละเซลในระบบ PCS จะมีขนาดที่เล็กมาก โดยมีรัศมีของการให้บริการไม่เกิน 1 กิโลเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในประเทศไทยนั้นได้มีการเปิดให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล พีซีที (PCT : Personal Communication Telephone)[6] ในย่านความถี่ 1900 MHz (1895-1918

MHz) โดยการนำเทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS จากประเทศญี่ปุ่นมาทำการปรับปรุงให้มีคุณสมบัติที่พิเศษขึ้น และเหมาะสมกับประเทศไทย 3 ประการ คือ

1. ในการใช้งานเลขหมายโทรศัพท์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะใช้เป็นเลขหมายเดียวกับเลขหมายโทรศัพท์บ้าน ทำให้สามารถทำการติดต่อกับผู้ใช้เครื่องพีซีทีได้ตลอดเวลา ไม่ว่าผู้ใช้เครื่องพีซีทีจะอยู่ที่บ้าน ที่ทำงาน หรือที่สาธารณะใดๆ ก็ตาม โดยจะใช้เพียงเลขหมายเดียวซึ่งนอกจากจะเป็นการง่ายในการจดจำแล้วยังเป็นการพัฒนาไปสู่เลขหมายส่วนบุคคล (Personal number) อีกด้วย

2. ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีได้มีการขยายขนาดพื้นที่ครอบคลุมเซลให้มีขนาดใหญ่กว่าเซลในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS เพื่อลดปัญหาการขาดหายของสัญญาณในขณะข้ามเซล(Handover) ทำให้สามารถทำการติดต่อสื่อสารภายในยานพาหนะด้วยความเร็วที่สูงขึ้นได้

3. ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีได้นำเอาโครงข่าย 3 โครงข่าย คือ โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS และโครงข่ายอัจฉริยะ (IN : Intelligent Network) มาทำงานร่วมกัน เพื่อให้สามารถใช้งานเลขหมายของเครื่องพีซีทีเป็นเลขหมายเดียวกับเลขหมายโทรศัพท์บ้าน

สำหรับรายเอียดและคุณสมบัติทางเทคนิคต่างๆ ของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 2

1.1 วัตถุประสงค์ในการทำวิจัย

การให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในประเทศไทยนั้น ได้ทำการจำลองรูปแบบการวางเซลมาจากการวางเซลในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS ของประเทศญี่ปุ่น โดยในประเทศญี่ปุ่นนั้นจะมีลักษณะการใช้งานในแบบอยู่กับที่หรือมีการเคลื่อนที่ช้าๆ เช่น การเดินใช้งานเป็นต้น แต่ในประเทศไทยนอกจากจะมีการใช้งานแบบอยู่กับที่หรือมีการเคลื่อนที่ช้าๆ แล้ว ยังมีการใช้งานในยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง เช่น การใช้งานในรถยนต์ อีกทั้งลักษณะสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นของประเทศไทยซึ่งมีความแตกต่างจากประเทศญี่ปุ่น เช่น ลักษณะอาคารบ้านเรือน ต้นไม้ เป็นต้น จึงทำให้ลักษณะการลดทอนของสัญญาณในประเทศไทยมีความแตกต่างจากประเทศญี่ปุ่นตามไปด้วย การนำรูปแบบการวางเซลหรือสมการการลดทอนของสัญญาณที่ใช้อยู่เดิมในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นตามสภาพแวดล้อมและการใช้งานในประเทศญี่ปุ่นมาใช้ในการวางเซลสำหรับให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในประเทศไทยก็อาจจะทำให้การวางเซลเกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นเพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีที่สุดสำหรับการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนบุคคลพีซีทีในประเทศไทย จึงต้องมีการออกแบบการวางเซลให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งานโทรศัพท์ในประเทศไทย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที และยังได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการแพร่กระจายคลื่นในประเทศไทย เช่น ลักษณะอาคารบ้านเรือน ต้นไม้ เป็นต้น โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอสมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้นจากสมการการลดทอนของสัญญาณที่มีอยู่เดิม โดยการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์บางตัวเพื่อให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นและการใช้งานในประเทศไทย ซึ่งเมื่อนำมาใช้ในการออกแบบการวางเซลสำหรับการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในประเทศไทย ก็จะทำให้ได้รูปแบบการวางเซลที่มีความถูกต้องและมีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งานในประเทศไทยมากกว่าการใช้สมการการลดทอนของสัญญาณที่มีอยู่เดิม ทำให้ได้คุณภาพที่ดีที่สุดในการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

1.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลในปัจจุบัน

ในปัจจุบันได้มีการนำเอาระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลมาการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ดังนั้นตั้งแต่ปี พ.ศ. 2528 ทาง ITU (International Telecommunication Union) จึงได้กำหนดรูปแบบและคุณสมบัติการใช้งานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับอนาคต หรือที่เรียกกันย่อๆ ว่า FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication System)[7] และได้มีการประชุมกันเรื่อยมาจนกระทั่งสำเร็จเป็นมาตรฐานที่แน่นอนในปี พ.ศ. 2535 โดยกำหนดความถี่ในการใช้งานไว้เป็น 2 ช่วง สำหรับการส่งและรับสัญญาณในแบบ 2 ทิศทางไว้ที่ความถี่ 1,885 - 2,025 MHz และ 2,010 - 2,200 MHz ซึ่งที่ย่านความถี่นี้แม้ว่าจะเป็นย่านใกล้เคียงกับมือถือดาวเทียม แต่ก็จำเป็นที่จะต้องนำมาใช้เนื่องจากความถี่ในย่านต่ำถูกใช้ไปหมดแล้ว

สำหรับวัตถุประสงค์ของการใช้งานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับอนาคต หรือ FPLMTS ที่ถูกกำหนดโดย ITU คือ

1. ต้องการให้ระบบ FPLMTS นั้น เป็นเป้าหมายสุดท้ายของการพัฒนาโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคต ที่ให้ประสิทธิภาพสูง ราคาถูก และใช้งานความถี่อย่างคุ้มค่า

2. ใช้เทคโนโลยีใหม่ เช่น CDMA เพื่อการบริการที่สมบูรณ์มากขึ้น

3. สามารถตอบสนองการให้บริการในรูปแบบการใช้งานส่วนบุคคล นั่นคือเครื่องโทรศัพท์จะต้องมีขนาดเล็ก และสามารถพกพาได้สะดวก

4. ระบบมีความยืดหยุ่นสูง กล่าวคือใช้โครงข่ายหลัก เช่นโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงสัญญาณร่วมกับระบบที่ใช้คลื่นวิทยุแบบไมโครเซล

เอกสารนี้มีไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

5. ความเร็วของสัญญาณมีความยืดหยุ่นสูง เช่น ใช้ 64 kbps หรือ 2.048 Mbps ก็ได้ เพื่อรองรับโครงข่ายภาคพื้นดินในอนาคต

6. โครงสร้างจะต้องเป็นลักษณะเปิด เพื่อการต่อเชื่อมกับระบบใดก็ได้

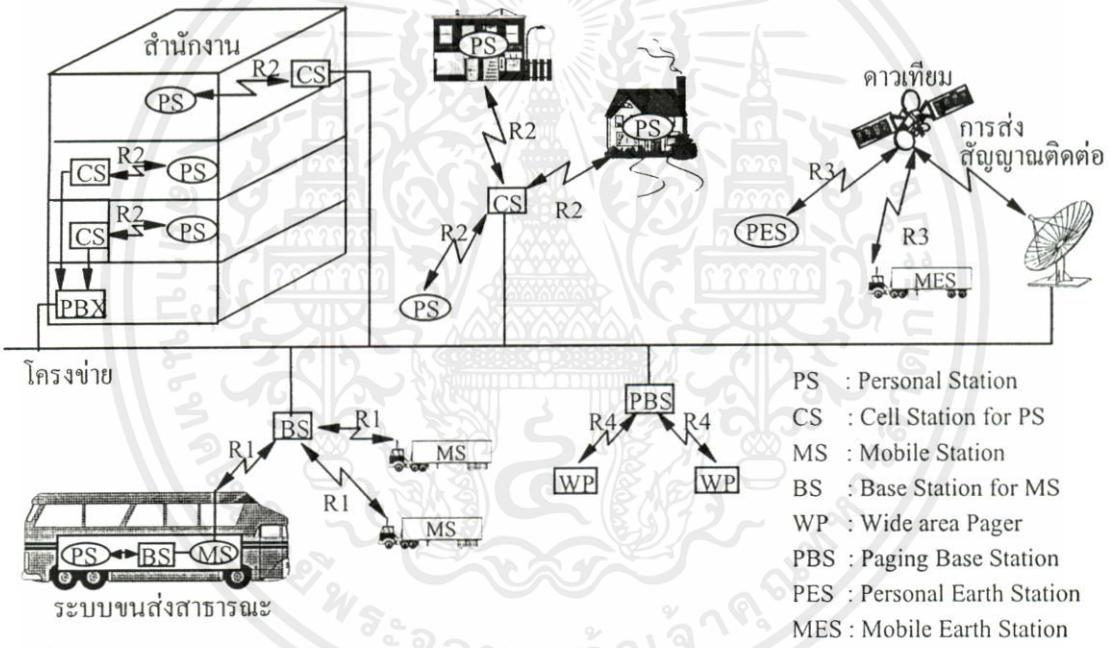
7. สามารถต่อเชื่อมเข้ากับระบบ ISDN หรือ โทรศัพท์เคลื่อนที่ผ่านดาวเทียมได้

8. สามารถให้บริการภายในอาคารต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องรูปลักษณ์ของอาคาร

9. การใช้งานภายนอกอาคารจะต้องทำงานได้เทียบเท่ากับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วๆ ไป

10. การใช้งานในยานพาหนะยังสามารถทำงานได้ดีแม้ว่าจะใช้ในย่านความถี่สูงขึ้น

ลักษณะทั้ง 10 ประการนี้เป็นการกำหนดรูปแบบการใช้งานของ FPLMTS ไว้อย่างกว้างๆ ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบจำลองได้ดังรูปที่ 1.1

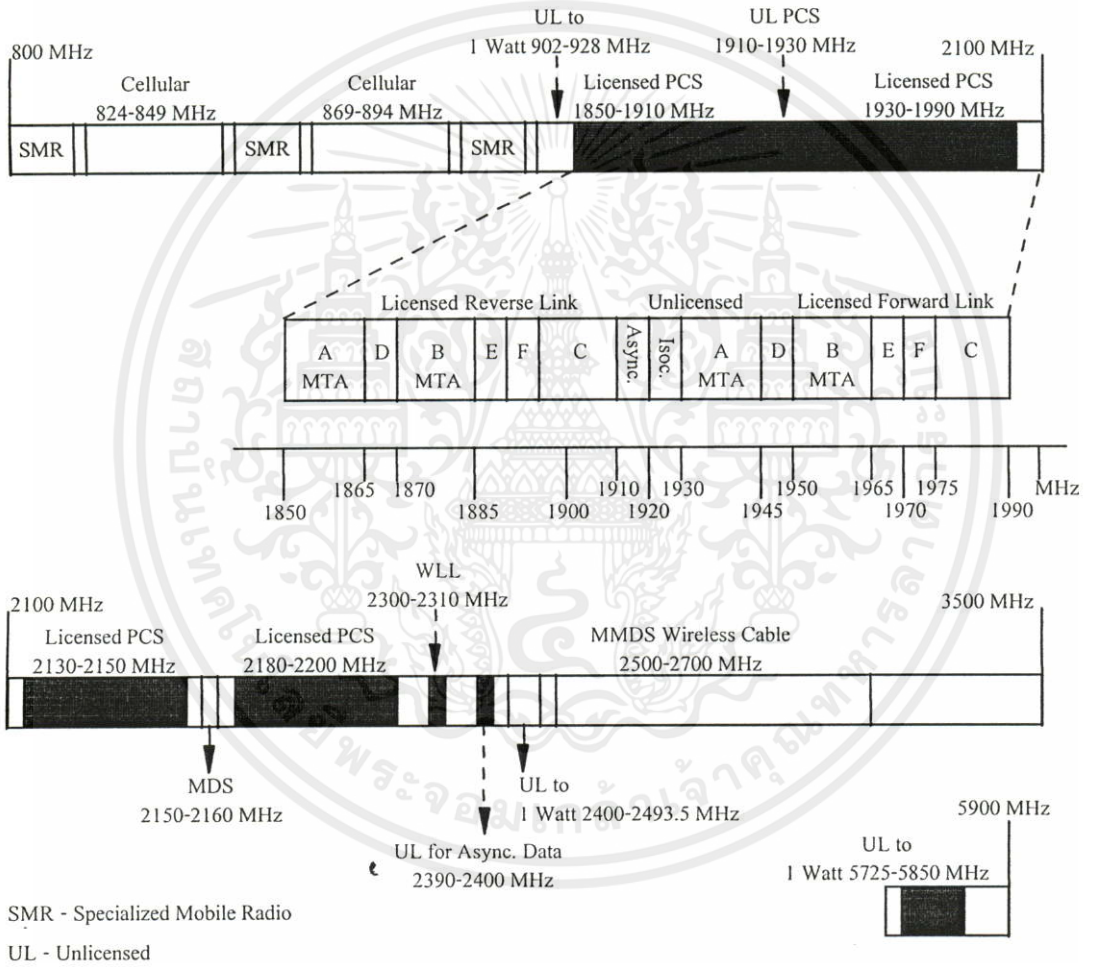


รูปที่ 1.1 แสดงแบบจำลองของโครงข่าย FPLMTS ที่มีอินเตอร์เฟส 4 รูปแบบ

รูปแบบของอินเตอร์เฟสที่ใช้กันอยู่ของระบบ FPLMTS จะมีอยู่ 4 รูปแบบด้วยกัน คือ R1-R4 โดย ระบบอินเตอร์เฟสแบบ R1 นั้นจะเป็นอินเตอร์เฟสที่ต่อเชื่อมด้วยคลื่นวิทยุระหว่าง MS (Mobile Station) และ BS (Base Station) ซึ่งเป็นการใช้งานในลักษณะเดียวกับการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วๆ ไป ระบบอินเตอร์เฟสแบบ R2 เป็นการต่อเชื่อมด้วยคลื่นวิทยุระหว่าง PS (Personal Station) กับ CS (Cell Station) ระบบอินเตอร์เฟส R3 เป็นการต่อเชื่อมด้วยคลื่นวิทยุวิทยุระหว่างดาวเทียมกับเครื่องที่ใช้ทางภาคพื้นดิน โดยอาจจะเป็นไปได้ 3 แบบคือ ติดต่อกับ PES (Personal Earth Station) MES (Mobile Earth Station) หรือ Gateway ของสถานีดาวเทียม ระบบอินเตอร์เฟส R4 เป็นการต่อเชื่อมด้วยคลื่นวิทยุระหว่าง PBS (Paging Base Station) กับ WP (Wide area Pager)

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ในรูปแบบใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

สำหรับความถี่ในย่านนี้นั้น ในปัจจุบันได้มีระบบที่ใช้งานอยู่แล้ว 4 ระบบ นั่นก็คือ ระบบ PHS โดยทำงานในย่านความถี่ 1,895 - 1,918 MHz ระบบที่ 2 เป็นระบบ DECT ที่ใช้ย่านความถี่ 1,880 - 1,990 MHz ระบบที่ 3 เป็นระบบ PACS ที่ใช้ความถี่ย่าน 1850 - 1,910 MHz และ 1,930 - 1,990 MHz และระบบที่ 4 เป็นระบบ PCS ที่มีความถี่สูงในย่าน 2,130 - 2,150 MHz และ 2,180 - 2,200 MHz สำหรับในกรณีที่มีความถี่เพียงช่วงเดียวนั้นจะเป็นการใช้ช่องสัญญาณในการส่งและรับสัญญาณที่ความถี่เดียวกัน โดยใช้เทคนิคการสลับเวลาในการรับและส่งสัญญาณ ส่วนกรณีที่มีความถี่ 2 ช่วงจะเป็นการส่ง 1 ชุดและรับอีก 1 ชุด ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงแถบความถี่ใช้งานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับอนาคต FPLMTS และความถี่ในย่านใกล้เคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.1 ระบบ CT-2

ระบบ CT-2 [9] เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายที่ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศอังกฤษ เพื่อใช้งานในย่านที่อยู่อาศัย ย่านธุรกิจและใช้งานในแบบ Tele-point หรือที่ในประเทศไทยได้เคยมีการให้บริการในชื่อ Phone-point โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการของโทรศัพท์พื้นฐาน ในส่วนของสถานีฐานของระบบ CT-2 จะมีการติดตั้งในบริเวณสถานีรถไฟ สนามบิน และศูนย์การค้า สำหรับการใช้งานระบบ CT-2 ในย่านธุรกิจและย่านที่อยู่อาศัยจะสามารถใช้งานได้ทั้งการเรียกเข้าและเรียกออก แต่ในการให้บริการในแบบ Tele-point หรือ Phone-point จะถูกจำกัดให้มีแต่การเรียกออกเท่านั้น

สำหรับลักษณะการทำงานในระบบ CT-2 นั้นจะใช้เทคนิค FDMA (Frequency Division Multiple Access) เพื่อให้เหมาะสมกับจุดประสงค์ของการให้บริการ นั่นคือมีการใช้งานที่ไม่ยุ่งยาก สามารถใช้งานได้กับผู้ใช้คนเดียว สามารถใช้งานเป็นโทรศัพท์ไร้สายภายในบ้าน และเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการรบกวนกันในขณะเริ่มต้นการเรียก อีกทั้งเพื่อให้สามารถรองรับการมัลติเพล็กซ์แบบหลายๆ ช่องสัญญาณหรือการแฮนด์ออฟได้ ดังนั้นการใช้เทคนิค FDMA/TDD (Frequency Division Multiple Access/Time Division Duplex) จึงเหมาะที่จะใช้กับงานง่ายๆ ในแบบ 1 ช่องสัญญาณต่อ 1 ผู้ใช้ และยังทำให้ง่ายต่อการวัดกำลังของสัญญาณจากช่องความถี่ที่ตัวรับและตัวส่ง

การใช้งานความถี่ในระบบ CT-2 นั้นจะมีการใช้งานแถบความถี่กว้าง 4 MHz ในช่วง 864.10-868.10 MHz ซึ่งจะแบ่งเป็น 40 ช่องๆ ละ 100 kHz โดยในแต่ละช่องสัญญาณของสถานีฐานและเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะสลับกันส่งชุดข้อมูลโดยใช้เทคนิค TDD (Time Division Duplex) ในการส่งสัญญาณโดยใช้เทคนิค TDD นั้นสถานีฐานกับเครื่อง CT-2 จะสลับกันส่งและรับข้อมูลครั้งละ 1 ms สำหรับการใช้งานช่องสัญญาณของระบบ CT-2 นั้น เครื่อง CT-2 จะทำการเลือกใช้งานช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนน้อยที่สุด โดยเครื่อง CT-2 จะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่อย่างรวดเร็ว ถ้าค่า BER (Bit Error Rate) ของช่องสัญญาณที่เลือกไม่อยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้ ในส่วนของโครงสร้างของสัญญาณในระบบ CT-2 นั้นจะประกอบไปด้วยข้อมูลขนาด 72 kbps โดยแต่ละ 72 บิทของข้อมูลจะเป็นสัญญาณเสียงพูด สัญญาณควบคุม และสัญญาณซิงโครนัสระหว่างสถานีฐานกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังมี Guard time ระหว่างชุดข้อมูล เพื่อให้ผู้ส่งข้อมูลหยุดการส่งข้อมูลและเปลี่ยนมาเป็นการรับข้อมูล สำหรับ Guard time นี้จะมีความยาวประมาณ 4 บิท ทั้งสองด้านของการเชื่อมต่อ ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจว่าผู้รับสามารถถอดรหัสของสัญญาณชุดแรกและชุดต่อๆ มา ได้อย่างแน่นอน

เทคนิคการมอดูเลชั่นของระบบ CT-2 จะใช้เทคนิค GFSK (Gaussian Filtered Binary Frequency-Shift Keying) มีค่าประสิทธิภาพการใช้งานความถี่เท่ากับ 0.72 bps/Hz ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของระบบ GSM การเข้ารหัสสัญญาณเสียงพูดจะเป็นแบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulator) ที่ 32 kbps สำหรับคุณสมบัติของระบบ CT-2 แสดงดังตารางที่ 1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 .1 แสดงคุณสมบัติของระบบ CT-2

พารามิเตอร์	คุณสมบัติ
ความถี่	864.10-868.10 MHz
ความกว้างของความถี่ใช้งาน	4 MHz
จำนวนการมัลติเพล็กซ์	1 ch, 100 kHz (40 carriers)
ลักษณะการทำงาน	FDMA/TDD
การเข้ารหัสและการถอดรหัสสัญญาณเสียง	32 kbps ADPCM
เทคนิคการผสมสัญญาณ	GMSK/GFSK
ความเร็วในการส่งข้อมูล	72 kbps
กำลังงานเอาท์พุทของสถานีฐาน	5 mW Ave. (10 mW)
เฟรม TDMA	2 ms
รัศมีคลื่นวิทยุ	50 ~ 100 m
รูปแบบการติดต่อ	แบบทางเดียว (เฉพาะการโทรออก)

1.2.2 ระบบ DECT

ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone)[8] เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายที่ถูกพัฒนาโดย European Telecommunications Standards Institute (ETSI) เพื่อให้เป็นระบบที่สามารถรองรับการสื่อสารข้อมูลที่มีความหนาแน่นของการจราจรโทรศัพท์สูง มีระยะในการสื่อสารสั้นๆ และครอบคลุมทุกสภาพการใช้งานและทุกสภาพแวดล้อม สำหรับการให้บริการทั้งเสียงและข้อมูลในระบบ DECT นั้นถือว่ามีคุณภาพที่สูงมาก โดยมีรูปแบบของการให้บริการหลักๆ คือการใช้งานภายในอาคารสำนักงานร่วมกับตู้ชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัติ และสามารถรองรับการใช้งานแบบ Tele-point ได้เป็นอย่างดี โดยระบบ DECT จะมีมาตรฐานตาม OSI (Open System Interconnection) ทำให้ระบบ DECT สามารถที่จะทำการเชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์ต่างๆ หรือโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น ISDN (Integrated Service Digital Network) หรือ GSM (Global System Mobile) ได้ สำหรับคุณสมบัติของระบบ DECT แสดงดังตารางที่ 1.2

สำหรับแนวความคิดในการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายด้วยระบบ DECT นั้นเกิดขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์คือ

1. สามารถส่งสัญญาณเสียงที่มีความเร็วของสัญญาณ 32 kbps โดยใช้เทคนิคของ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) ทำให้การสนทนามีความชัดเจนใกล้เคียงกับโทรศัพท์แบบใช้สาย แต่ในการใช้งานระบบ DECT นั้นจะมีบริเวณครอบคลุมสถานีฐานในรัศมีประมาณ 100 เมตรเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 แสดงคุณสมบัติของระบบ DECT

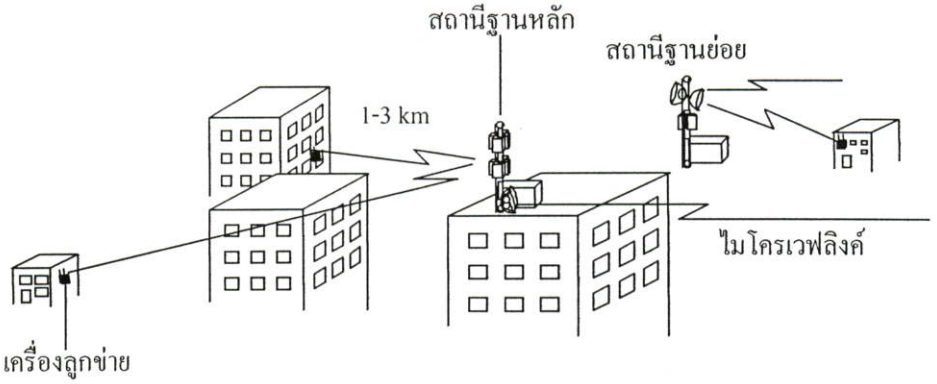
พารามิเตอร์	คุณสมบัติ
ความถี่	1880-1900 MHz
จำนวนการมัลติเพล็กซ์	12 ช่องสัญญาณ ต่อ 1 เซล (10 คลื่นพาหะ)
ความกว้างของช่องสัญญาณ	1.728 MHz
ลักษณะการทำงาน	TDMA/TDD 24 สล็อต ต่อ เฟรม
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	32 kbps ADPCM
ค่าพลังงานเฉลี่ยในการส่งสัญญาณ	10 mW
เฟรม TDMA	10 ms
อัตราการส่งสัญญาณต่อ 1 ช่องสัญญาณ	1152 kbps
อัตราการส่งข้อมูล	32 kbps สำหรับช่องส่งสัญญาณ 6.2 kbps สำหรับช่องสัญญาณควบคุม
การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	CRC 16 (Cyclic Redundancy Check 16)
การกำหนดช่องสัญญาณ	แบบชั่วคราว
การมอดูเลชั่น	GFSK (BT = 0.3)
รัศมีคลื่นวิทยุ	50-150 เมตร
การเคลื่อนที่	ความเร็วในการเดิน

2. สามารถต่อเข้ากับอุปกรณ์อินเตอร์เฟสแบบดิจิตอลและสามารถทำงานด้วยความเร็วสูงถึง 1,152 kbps นั่นก็หมายความว่า สามารถใช้ระบบ DECT เป็นโครงข่ายในการส่งสัญญาณให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในการใช้งานคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่อยู่ภายในห้องเดียวกัน หรือในสำนักงานเดียวกัน เมื่อต่อกับเครื่อง DECT แล้วจะสามารถโยกย้ายเปลี่ยนตำแหน่งได้ โดยไม่มีปัญหาใดๆ เหมือนกับที่เป็นปัญหาในระบบโทรศัพท์แบบใช้สาย

3. จำนวนช่องสัญญาณต่อหนึ่งเซลของระบบ DECT นั้นมีถึง 12 ช่องสัญญาณต่อแคเรียร์ โดยใช้เทคนิคของ TDD ดังนั้นในการติดตั้งเซลในระบบ DECT 1 เซลต่อ 1 ห้องทำงาน จึงสามารถทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุดและพอเพียงกับความต้องการ โดยไม่ต้องเพิ่มเซลแต่ประการใด แต่อย่างไรก็ตามการมีจำนวนช่องสัญญาณมากๆ นั้นทำให้ราคาเครื่อง DECT ค่อนข้างสูง อาจจะมีราคาใกล้เคียงกับโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์เลยทีเดียว

4. สามารถสร้างโครงข่ายแบบ WLL (Wireless Local Loop) ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการใช้สายอากาศแบบบีมพิเศษ ทำให้สามารถสื่อสารได้ระยะไกล อาจจะได้ 1-3 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งจะทำให้ลดการวางโครงข่ายสายลงได้ในบริเวณที่การวางโครงข่ายสาย ทำได้ลำบาก เช่น ข้ามฝั่งแม่น้ำ หรือข้ามถนน เป็นต้น

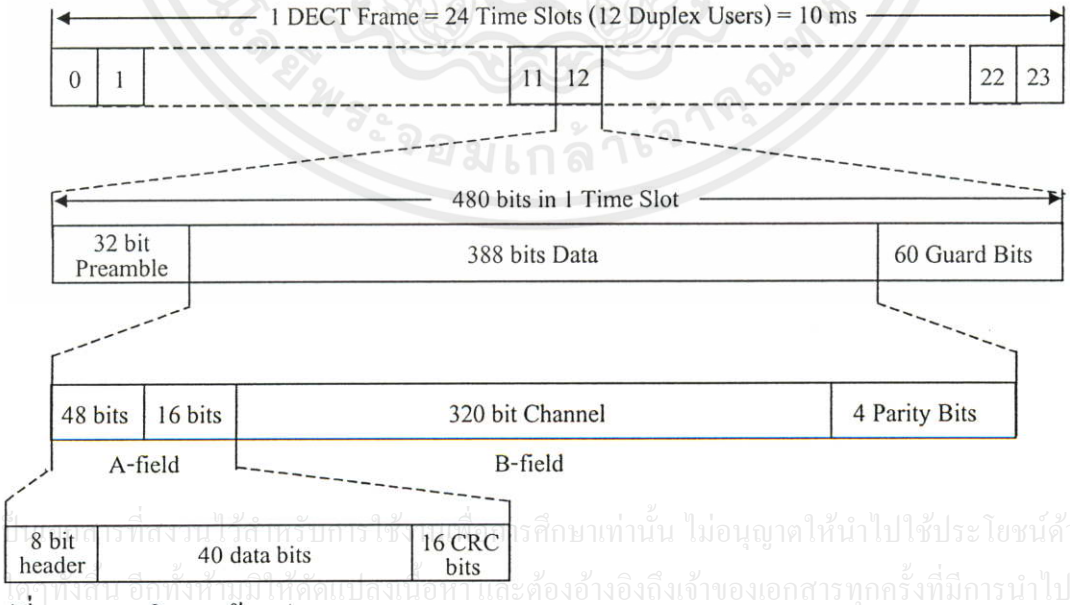
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 แสดงการส่งสัญญาณในรูปแบบของ WLL โดยใช้ระบบ DECT

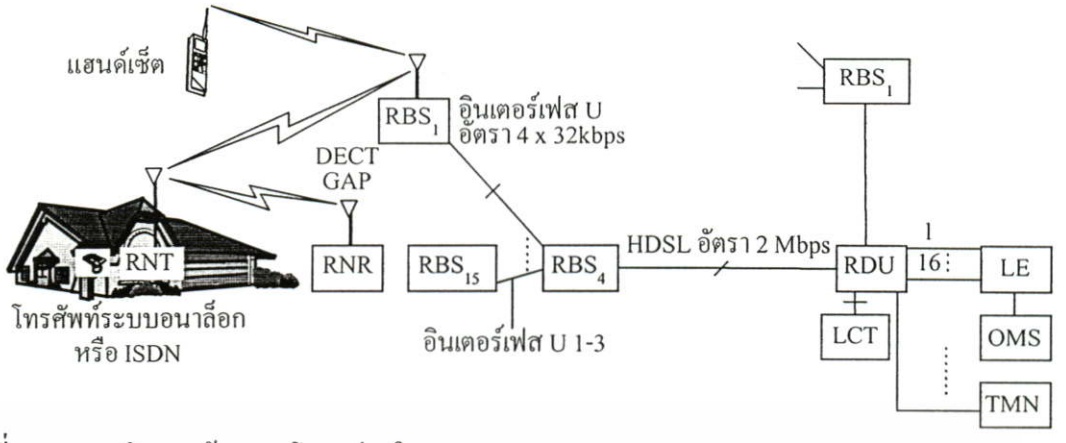
1.2.2.1 โครงสร้างของระบบ DECT

ระบบ DECT เป็นระบบที่มีมาตรฐานตาม OSI โดยระบบ DECT ถูกออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานในแบบเรดิโอโลคัลลูป (radio local loop) หรือ เพื่อใช้งานในเขตเมือง แต่ก็สามารถที่จะใช้งานในบริเวณจุดเชื่อมต่อกับระบบสื่อสารไร้สายแบบอื่นๆ เช่น GSM ได้ สำหรับระบบ DECT นั้นจะใช้ช่องสัญญาณที่มีความกว้าง 1,728 KHz ซึ่งถือได้ว่ามีความกว้างมาก และเมื่อรวมความถี่ของการ์ดแบนด์ (Guard band) ด้วยแล้ว จะต้องใช้แถบความถี่ที่มีความกว้างถึง 2 MHz ดังนั้นความถี่ของ DECT ที่มีแถบความกว้างทั้งหมด 20 MHz จะได้ช่องความถี่ได้เพียง 10 ช่องเท่านั้น ซึ่งแต่ละช่องจะแบ่งได้ 12 ช่องเวลาแบบ TDMA จึงทำให้ช่องสัญญาณรวมของระบบ DECT ทั้งหมดมีได้เพียง 120 ช่องสัญญาณเท่านั้น สำหรับโครงสร้างเฟรมของระบบ DECT จะแสดงดังรูปที่ 1.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.4 แสดงโครงสร้างเฟรมของระบบ DECT



รูปที่ 1.5 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายในระบบ DECT

โครงสร้างของโครงข่ายในระบบ DECT นั้น จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ ดังรูปที่ 1.5 โดยส่วนแรกเป็นส่วนของแฮนด์เซ็ตที่มีขนาดเท่ามือถือทั่วๆ ไป ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วจะสามารถใช้งานในขณะเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วที่ต่ำมาก คือ ไม่เกิน 8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง[10] ทั้งนี้เนื่องจากอัตราความเร็วของการส่งข้อมูลมีความเร็วที่สูงมาก จึงทำให้โอกาสที่ข้อมูลเกิดผิดพลาดอันเนื่องมาจากผลของการเฟดดิ้ง (ผลรวมของคลื่นที่สะท้อนมาจากรอบๆ ตัว) มีค่าสูง เมื่อมีการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของสถานีฐานเรียกว่า RBS (Radio Base Station) ซึ่งมีกำลังส่งขนาด 20 mW และสามารถรับสัญญาณได้ 12 ช่องสัญญาณ โดยสามารถต่อพ่วงขยายออกได้ถึง 3 RBS ต่อหนึ่งกลุ่ม ซึ่งจะอำนวยความสะดวกให้การใช้งานในสถานที่ที่มีประชากรหนาแน่น ส่วนที่สามจะเป็นส่วนของชุมสาย ซึ่งเรียกว่า RDU (Radio Distribution Unit) ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยชุมสายของ DECT ระบบปฏิบัติงานและบำรุงรักษา หรือ OMS (Operation and Maintenance System) และส่วนของการบริหารโครงข่าย TMN (Telecommunication Management Network)

1.2.3 ระบบ PACS

ระบบ PACS (Personal Access Communication System) เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลที่ถูกพัฒนาในประเทศสหรัฐอเมริกา และใช้มาตรฐานของระบบ North American Standard โดยมีการทำงานในรูปแบบ FDD (Frequency Division Duplex) เมื่อใช้งานภายนอกอาคารในลักษณะที่วางสถานีฐานเป็นโครงข่ายสาธารณะและจะมีการทำงานแบบ TDD (Time Division Duplex) เมื่อใช้งานภายในอาคารหรือในลักษณะที่วางสถานีฐานเป็นโครงข่ายภายในอาคาร (ใช้ชุมสายปลายทางแบบไร้สาย: Wireless PABX) ดังนั้นการวางสถานีฐานภายนอกอาคารจะต้องใช้ความถี่ 2 ความถี่ ความถี่แรกใช้สำหรับการส่งสัญญาณจากตัวลูกไปยังสถานีฐาน (1850-1910MHz) และความถี่ที่สองจะใช้สำหรับส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังตัวลูก (1930-1990MHz) ซึ่งการจัดความถี่ในลักษณะนี้จะเป็นการจัดความถี่ในลักษณะเดียวกับระบบโทรศัพท์มือถือเซลลูล่าร์ทั่วๆ ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะใช้การจัดการความถี่ในลักษณะของ Fixed Assign ซึ่งจะต้องมีการจัดวางสถานีฐานในระบบ PACS ให้มีประสิทธิภาพ และสำหรับการเพิ่มสถานีฐานในภายหลังจะต้องปรับโครงสร้างของเซลใกล้เคียงทุกครั้งไป ตรงจุดนี้ระบบ PACS จึงค่อนข้างเสียเปรียบระบบไร้สายส่วนบุคคลแบบอื่นๆ เช่น ระบบ PHS หรือระบบ DECT เนื่องจากทั้งสองระบบหลังนี้จะมีการจัดความถี่ที่เรียกกันว่า Dynamic Assign ที่มีการจัดความถี่อัตโนมัติ เพื่อหลีกเลี่ยงความถี่ที่ใช้อยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเซลลูล่าร์แล้ว ระบบ PACS นั้นถือได้ว่ายังมีความได้เปรียบอยู่ ทั้งนี้เพราะว่าในระบบ PACS นั้น จะใช้ความถี่ที่สูงกว่า คือย่าน 1,900 MHz จึงทำให้โอกาสในการพัฒนาขนาดของอุปกรณ์ให้มีขนาดเล็กสามารถทำได้ง่าย ประกอบกับโครงสร้างของเซลที่มีขนาดเล็กกว่าระบบเซลลูล่าร์ จึงทำให้จำนวนช่องสัญญาณต่อพื้นที่มีมากกว่า และการดูแลลูกข่ายในหนึ่งเซลสามารถกระทำได้ดีกว่า เนื่องจากลูกข่ายในหนึ่งเซลมีไม่มากนัก

ระบบ PACS เป็นระบบการสื่อสารส่วนบุคคลรุ่นที่ 3 ซึ่งถูกพัฒนาและนำเสนอโดยบริษัท Bellcore ในปี ค.ศ. 1992 โดยระบบ PACS เป็นระบบที่สามารถรองรับการใช้งานในด้านเสียง ข้อมูล และภาพวิดีโอ ภายในอาคารและการใช้งานแบบไมโครเซล ระบบ PACS ถูกออกแบบให้มีรัศมีของการให้บริการประมาณ 500 เมตร สำหรับวัตถุประสงค์หลักของระบบ PACS คือ เพื่อรวมระบบการสื่อสารแบบ WLL (Wireless Local Loop) ทุกรูปแบบให้อยู่ในระบบเดียวกัน และมีฟังก์ชั่นการใช้งานโทรศัพท์เต็มรูปแบบ โดยมีการเชื่อมต่อกับชุมสายท้องถิ่น (LECs : Local Exchange Carriers) ในเบื้องต้นบริษัท Bellcore ได้พัฒนาหลักการของ PACS และ LECs โดยใช้ชื่อ Wireless Access Communication System (WACS) และเมื่อ FCC (Federal Communications Commission) ได้มีการแนะนำความถี่ในช่วง PCS มาตรฐาน WACS จึงได้เปลี่ยนมาเป็น PACS

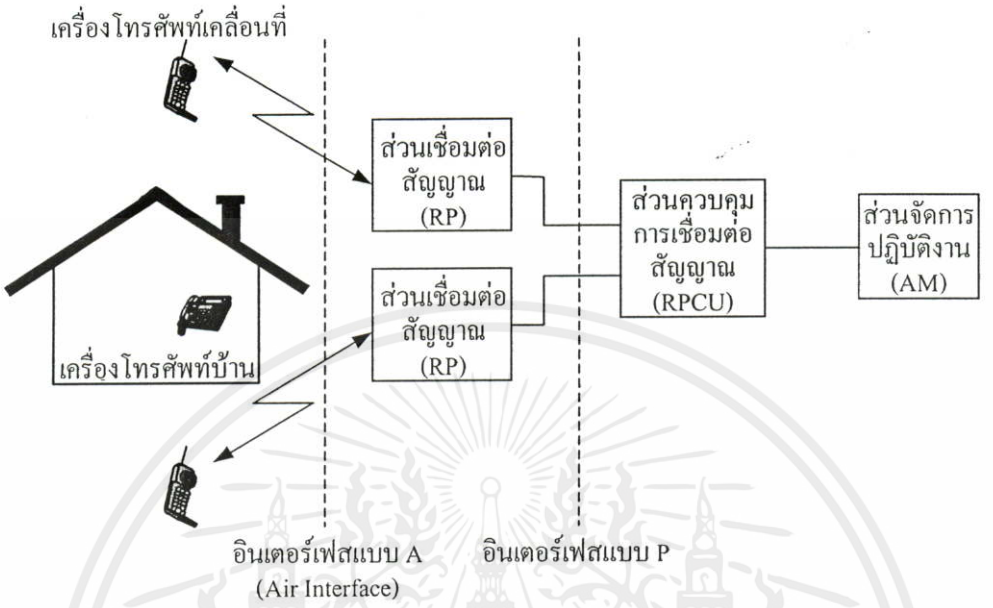
1.2.3.1 โครงสร้างโครงข่ายของระบบ PACS

ระบบ PACS เป็นมาตรฐานของระบบการสื่อสารส่วนบุคคลแบบไร้สายที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการใช้งานในหลายๆ รูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารส่วนบุคคลหรือใช้งานในรูปของโทรศัพท์สาธารณะ ซึ่งมีการให้บริการในย่านความถี่ PCS ในระบบ PACS อาจจะมีการเชื่อมต่อเข้ากับตู้ชุมสายอัตโนมัติ (PBX: Private Branch Exchange) หรือเชื่อมต่อกับชุมสายโทรศัพท์ (CENTREX: Central Office Exchange Service) และอาจจะให้บริการเป็นชุมสายโทรศัพท์ในพื้นที่ที่เป็นที่อยู่อาศัยได้อีกด้วย

โครงสร้างโครงข่ายของระบบ PACS จะประกอบไปด้วย เครื่องของผู้ใช้บริการ (SU: Subscriber Unit) ซึ่งอาจจะเป็นโทรศัพท์พื้นฐานหรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็ได้ ส่วนเชื่อมต่อสัญญาณ (RP: Radio Ports) ซึ่งจะเชื่อมต่อกับส่วนควบคุมการเชื่อมต่อสัญญาณ (RPCU: Radio Ports Control Unit) และส่วนจัดการปฏิบัติงาน (AM: Access Manager) สำหรับโครงสร้างโครงข่ายของระบบ PACS แสดงดังรูปที่ 1.6 ซึ่งจากรูป Interface A จะเป็น Air Interface ที่เชื่อมต่อกับ SU และ RP และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Interface P จะเป็นโปรโตคอลในการร้องขอการเชื่อมต่อ SU ผ่านทาง RP ไปยัง RPCU และเชื่อมต่อ RPCU กับ RP โดยใช้ Embedded Operations Channel (EOC) ในการเชื่อมต่อ

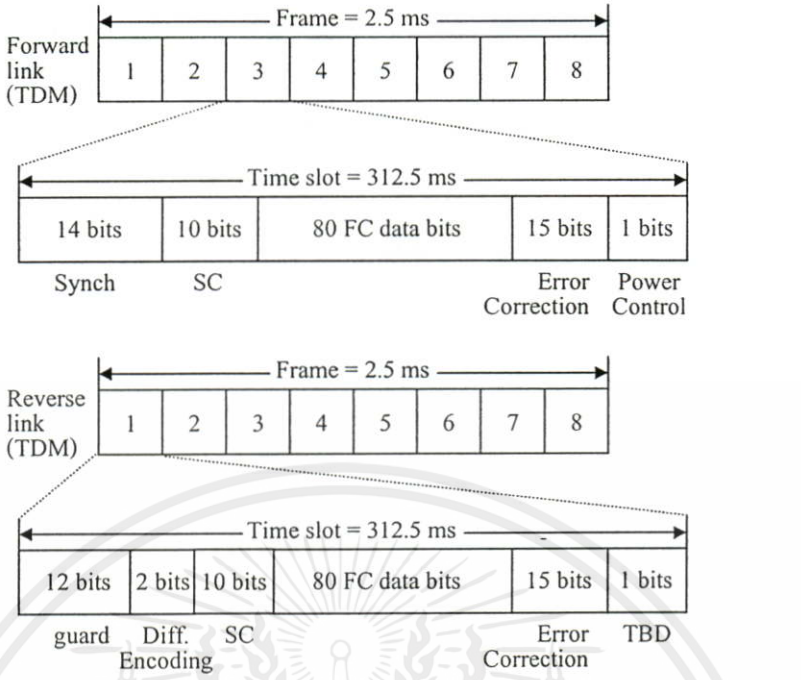


รูปที่ 1.6 โครงสร้างโครงข่ายของระบบ PACS

1.2.3.2 การเชื่อมต่อของระบบ PACS

ในระบบ PACS นั้น จะใช้แถบความถี่ที่มีความกว้าง 80 MHz สำหรับลักษณะการทำงานของระบบ PACS นั้น จะใช้เทคนิค TDMA/TDD โดยในแต่ละช่องความถี่จะมีความกว้าง 300 kHz ต่อหนึ่งช่องและจะแบ่งออกเป็น 8 ช่องสัญญาณ (4 คู่สนทนา) โดยแต่ละช่องสัญญาณสามารถส่งสัญญาณเสียงที่มีความเร็วของสัญญาณดิจิตอลขนาด 32 kbps หรือสามารถส่งสัญญาณอื่นๆ ที่เป็นข้อมูลดิจิตอลด้วยความเร็วสูงถึง 384 kbps นั่นก็หมายความว่าสามารถใช้งานในรูปแบบของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถทำงานได้ดีเหมือนกับระบบ PHS และดีกว่าระบบ DECT หลายเท่าตัว สำหรับการถ่ายโอนข้อมูลจากเซลหนึ่งไปอีกเซลหนึ่งของระบบ PACS นั้น สามารถกระทำได้ในเวลาเพียง 0.3 ms และส่วนหนึ่งยังเป็นผลอันเนื่องมาจากการใช้สายอากาศแบบสองต้นคู่ (Diversity) สำหรับลักษณะของไทม์สล็อตและโครงสร้างของเฟรมของระบบ PACS นั้น แสดงดังรูปที่ 1.7 และในตารางที่ 1.3 จะเป็นการแสดงคุณสมบัติต่างๆ ของระบบ PACS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.7 ลักษณะของไทม์สล็อตและโครงสร้างของเฟรมของระบบ PACS

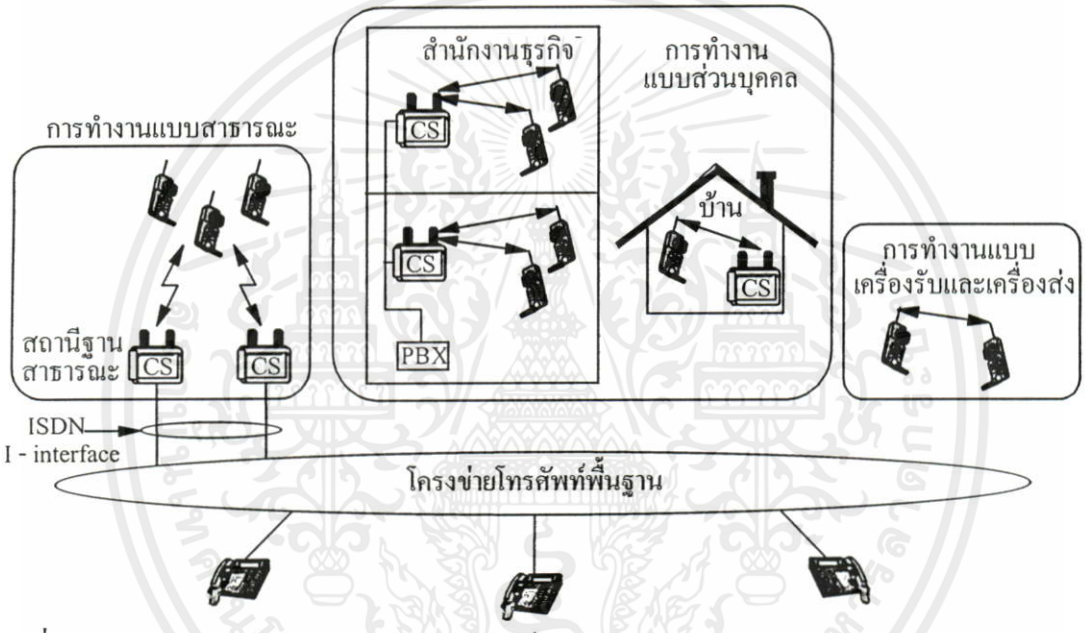
ตารางที่ 1.3 แสดงคุณสมบัติต่างๆ ของระบบ PACS

พารามิเตอร์	คุณสมบัติ
ย่านความถี่	1850-1910 MHz (Up) 1930-1990 MHz (Down)
ความกว้างของแถบความถี่ใช้งาน	120 MHz
จำนวนการมัลติเพล็กซ์	8 ch/CS (200 Carriers) สำหรับความหนาแน่นของประชากรค่อนข้างสูง
ลักษณะการทำงาน	TDMA/ FDD
การเข้ารหัสและการถอดรหัสสัญญาณเสียง	32 kbps ADPCM
การมอดูเลชั่น	π/4QPSK
สมรรถณะการใช้ความถี่	300 kHz x 2, 8 ch (75 kHz/ch)
กำลังงานเอาท์พุทของ CS	100 mW Ave. (800mW)
กำลังงานเอาท์พุทของ PS	25 mW Ave. (200mW)
เฟรม TDMA	2.5 ms
จำนวนไทม์สล็อตต่อเฟรม	5
การจัดช่องสัญญาณ	แบบตายตัวหรือแบบกึ่งอัตโนมัติ
รัศมีคลื่นวิทยุ	500 m
การเคลื่อนที่	ความเร็วของรถยนต์ในย่านธุรกิจ
รูปแบบการติดต่อ	แบบสองทิศทาง (โทรเข้าและโทรออกได้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.4 ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS[11] เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอลที่สามารถใช้งานได้ทั้งที่บ้าน ที่ทำงาน ในเขตพื้นที่ชุมชน ย่านธุรกิจ และพื้นที่สาธารณะต่างๆ ในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS สถานีฐานจะเรียกว่า สถานีเซล หรือเซลสเตชั่น CS (Cell Station) และเครื่องลูกข่ายจะเรียกว่า เครื่อง PS (Personal Station) สำหรับเซลในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS จะมีขนาดเล็กในระดับของไมโครเซล มีรัศมีการให้บริการเพียง 100-300 เมตร เท่านั้น โดยทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มความจุของระบบ และเป็นการประหยัดพลังงานเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ อีกทั้งเพื่อเป็นการลดราคาของเซลสเตชั่น



รูปที่ 1.8 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

ในรูปที่ 1.8 แสดงลักษณะการทำงานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS โดยระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS[12] เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอล สามารถใช้งานแบบโทรศัพท์ไร้สายได้ทั้งที่บ้านและที่ทำงาน ซึ่งการใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่าเป็นการใช้งานในแบบ Private Mode สำหรับในกรณีนี้เครื่องโทรศัพท์หลักจะอยู่ที่บ้าน หรือเป็นตู้ชุมสายอัตโนมัติในสำนักงานที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบโทรศัพท์พื้นฐาน PSTN (Public Switched Telephone Network) และเมื่อมีการใช้งานเครื่อง PS ภายนอกบ้าน หรือนอกสำนักงาน เครื่อง PS ก็จะทำการติดต่อกับเซลสเตชั่นที่ติดตั้งในพื้นที่สาธารณะ ซึ่งการใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่าเป็นการใช้งานในแบบ Public Mode โดยเมื่อผู้ใช้บริการต้องใช้งานในแบบ Public Mode ก็จะทำการกดหมายเลขไปยังเครื่อง PS ซึ่งในแต่ละเครื่องจะประกอบไปด้วยหมายเลขของผู้ใช้บริการจำนวน 10 หมายเลข โดยในแต่ละเซลสเตชั่นจะมีการเชื่อมต่อกับระบบโทรศัพท์ ISDN (Integrated Services Digital

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Network) นอกจากนี้ในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS ยังสามารถทำการติดต่อสื่อสารโดยตรงระหว่างเครื่อง PS ด้วยกันได้ ซึ่งการใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่าเป็นการใช้งานในแบบ Transceiver Mode โดยสำหรับการใช้งานในโหมดนี้จะสามารถใช้งานได้ก็ต่อเมื่อเครื่อง PS อยู่ในบริเวณใกล้ๆกัน และสำหรับการเลือกใช้งานในแต่ละโหมดนั้นผู้ใช้บริการสามารถเลือกใช้งานได้โดยพิจารณาตามสภาพแวดล้อมที่จะทำการใช้งาน

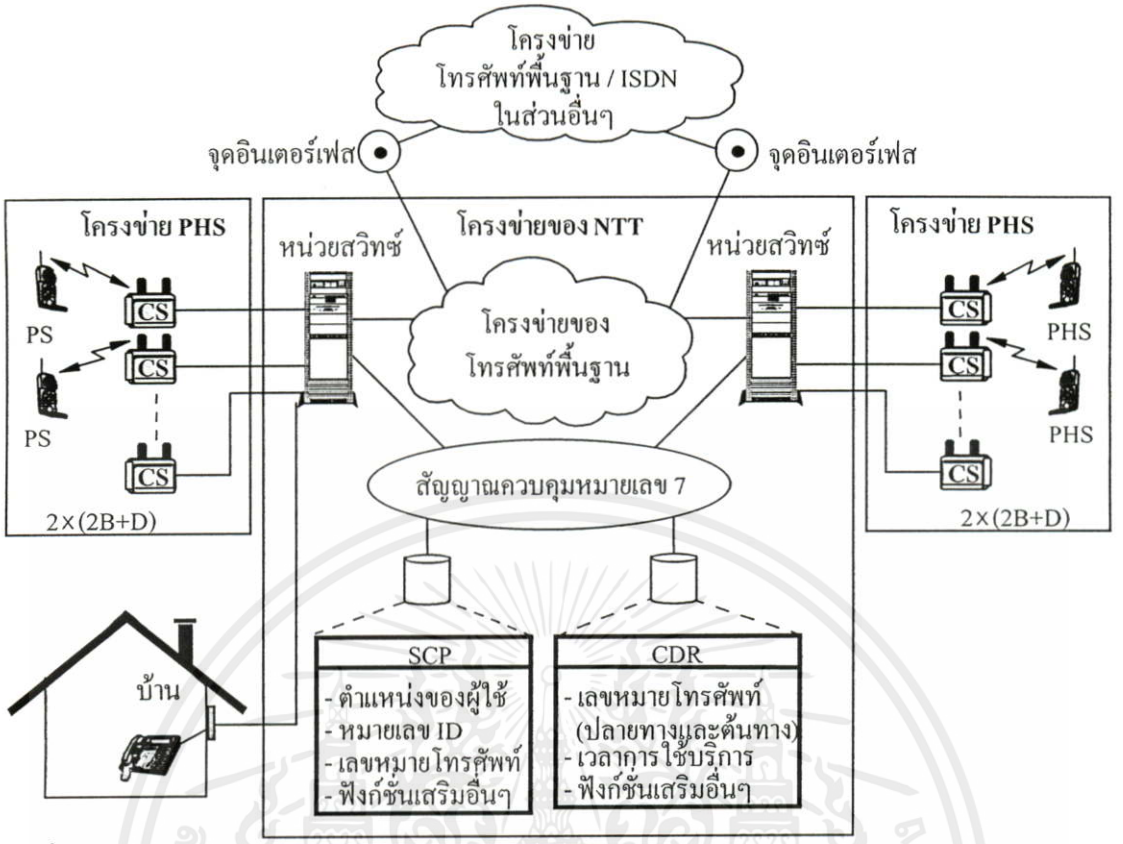
คุณสมบัติของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS คือ

1. มีคุณภาพของสัญญาณเสียงและความปลอดภัยในการสื่อสารข้อมูลสูง
2. มีความจุของช่องสัญญาณสูง เนื่องมาจากการใช้เซลในแบบไมโครเซล และใช้เทคนิคการจัดช่องสัญญาณแบบชั่วคราว (Dynamic Channel Assignment)
3. สามารถทำการสนทนาแบบต่อเนื่องได้นาน 5 ชั่วโมง และอยู่ในสถานะพร้อมที่ใช้งานได้นาน 17 วัน เนื่องจากเซลมีขนาดเล็ก จะมีการหยุดรับสายในขณะอยู่ในโหมดพร้อม (Standby Mode) และใช้แบตเตอรี่แบบต่างๆ ซึ่งใช้เทคนิคการเซฟแบตเตอรี่
4. สามารถให้บริการมัลติมีเดีย ซึ่งมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงถึง 64 kbps
5. มีการจัดการแถบความถี่ใช้งานเพราะมีการจัดช่องสัญญาณแบบชั่วคราว
6. การใช้งานโดยทั่วไปจะเป็นการใช้งานในแบบโทรศัพท์ไร้สาย โทรศัพท์ที่ใช้งานในพื้นที่สาธารณะมีขนาดเล็ก และสามารถใช้งานแบบเครื่องรับส่งวิทยุได้

1.2.4.1 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS เป็นโครงข่ายที่มีการใช้งานร่วมกับระบบโทรศัพท์พื้นฐาน ดังแสดงในรูปที่ 1.9 โดยผู้ให้บริการโครงข่ายของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS จะเป็นเพียงผู้จัดการการเชื่อมต่อระหว่างเซลสเตชั่นกับเครื่อง PS นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ดูแลเซลสเตชั่น และฐานข้อมูลของผู้ใช้บริการ สำหรับเซลสเตชั่นในพื้นที่ต่างๆ จะถูกเชื่อมต่อกับชุมสายท้องถิ่น โดยมีการเชื่อมต่อแบบ ISDN I′-interface ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อแบบ I-interface ที่เพิ่มการจัดการที่มีความคล่องตัวมากขึ้น และลักษณะทางฟิสิกคอลของช่องสัญญาณจะทำการส่งข้อมูลโดยใช้ช่องสัญญาณ B ในแต่ละเซลสเตชั่นจะสามารถรองรับได้ 4 ช่องสัญญาณ โดยใช้สายที่มีการเชื่อมต่อแบบ ISDN I′-interface 2 เส้น เชื่อมต่อเซลสเตชั่นกับชุมสายท้องถิ่น สำหรับข้อมูลต่างๆของผู้ใช้บริการ เช่น การดูแลการเปลี่ยนแปลงข้อมูล ข้อมูลของผู้ใช้บริการหรือหมายเลขของผู้ใช้บริการจะถูกเก็บไว้ในส่วนควบคุมการให้บริการ SCP (Service Control Point) และการบันทึกข้อมูลการเรียกของผู้ใช้บริการ CDR (Call Detail Record) เช่น หมายเลขโทรศัพท์ที่ทำการเรียก หมายเลขโทรศัพท์ที่ถูกเรียก และเวลาในการสนทนา ข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งผ่านไปยัง SS7 (Signaling System No.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.9 แสดงโครงสร้างโครงข่ายของระบบโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

1.2.4.2 การใช้งานแถบความถี่ในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

ช่องสัญญาณในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS แบ่งออกเป็น 77 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณกว้างช่องละ 300 kHz โดยจะใช้งานในช่วงความถี่ 1895.15-1917.95 MHz (ความกว้างของความถี่ 22.8 MHz) สำหรับการใช้งานในแต่ละช่องสัญญาณแสดงดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 แสดงการใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

ช่องสัญญาณที่	ความถี่ (MHz)	ลักษณะการใช้งาน
1 - 10	1895.150 - 1897.850	ใช้งานในลักษณะเป็นเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ (Transceiver mode: PS → PS) และใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
11	1898.150	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
12	1898.450	เป็นช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล
13 - 17	1898.750 - 1899.950	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
18	1900.250	เป็นช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 1.4 (ต่อ) แสดงการใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

ช่องสัญญาณที่	ความถี่ (MHz)	ลักษณะการใช้งาน
19 - 37	1900.550 - 1905.950	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
38 - 53	1906.250 - 1910.750	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ(Public mode: สามารถใช้งานกับสถานีฐานที่ใช้พลังงานสูงและพลังงานต่ำ)
54 - 69	1911.050 - 1915.550	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ(Public mode: สามารถใช้งานกับสถานีฐานที่ใช้พลังงานต่ำเท่านั้น)
70	1915.850	Guard Channel
71	1916.150	เป็นช่องสัญญาณควบคุม (สำรอง)
72	1916.450	Guard Channel
73	1916.750	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 1
74	1917.050	Guard Channel
75	1917.350	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 2
76	1917.650	Guard Channel
77	1917.950	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 3

1.2.4.3 ลักษณะการทำงานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

ในตารางที่ 1.5 แสดงคุณสมบัติการทำงานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS เปรียบเทียบกับระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอลแบบอื่นๆ เช่น ระบบ DECT และระบบ CT-2 โดยในระบบ CT-2 จะใช้งานความถี่ 800 MHz และระบบ PHS และระบบ DECT จะใช้งานความถี่ 1.9 GHz ซึ่งความถี่ที่ใช้ในระบบ PHS และระบบ DECT จะมีการเหลื่อมล้ำกันตามมาตรฐานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคต FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication Systems) ที่กำหนดโดย WARC-92 (World Administrative Radio Conference-92) ซึ่งในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS จะใช้เทคนิคการมอดูเลชั่นแบบ $\pi/4$ QPSK เพื่อให้ระบบมีความจุของสัญญาณสูง และเพื่อลดผลกระทบแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่ส่วนขยายสัญญาณของตัวส่งสัญญาณ

ในการปฏิบัติงานจะใช้ช่องสัญญาณซึ่งมีมอดูเลชั่นแบบ TDMA/TDD จำนวน 4 ช่องสัญญาณ และสำหรับการเข้ารหัสและถอดรหัสสัญญาณเสียงในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS จะใช้เทคนิค ADPCM 32 kbps ซึ่งมีคุณภาพเท่ากับเทคนิค PCM 64 kbps โดยเฟรม TDMA/TDD ที่ใช้งานมีความยาว 5 ms ทำให้มีช่วงเวลาดีเลย์สั้น และเนื่องจากเซลในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33395

โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS มีขนาดเล็กในระดับของไมโครเซล ดังนั้นค่าดีเลย์สูงสุดของการกระจายสัญญาณจึงน้อยมากเมื่อเทียบกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์

ตารางที่ 1.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารส่วนบุคคลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

Parameters	PHS	DECT	PACS	CT-2
ประเทศเจ้าของเทคโนโลยี	ญี่ปุ่น	ยุโรป	อเมริกา	อเมริกา
ย่านความถี่	1895 ~1918MHz	1880 ~1900MHz	1850 ~1910MHz(Up) 1930 ~1990MHz(Down)	864.05 ~ 868.05MHz
ความกว้างของแถบความถี่ที่ใช้งาน	23MHz	20MHz	120MHz	4MHz
ประสิทธิภาพในการใช้ความถี่	สูง	สูง	ต่ำ	สูง
จำนวนการมัลติเพล็กซ์	4ch/CS(77 Carriers) *สำหรับความหนาแน่นประชากรใดๆ (ต่ำถึงสูงสุด)	12ch/CS(10 Carriers) *สำหรับความหนาแน่นประชากรสูง	8ch/CS(200 Carriers) สำหรับความหนาแน่นประชากรค่อนข้างสูง	1 ch , 100kHz (40 carriers)
ลักษณะการทำงาน	TDMA/TDD	TDMA/TDD	TDMA/FDD	TDMA/TDD
การเข้ารหัสและการถอดรหัสสัญญาณเสียง	32Kbps ADPCM	32Kbps ADPCM	32Kbps ADPCM	32Kbps ADPCM
เทคนิคการผสมสัญญาณ	$\pi/4$ QPSK	GMSK/GFSK	$\pi/4$ QPSK	GMSK/GFSK
สมรรถนะการใช้ความถี่	300 kHz,4ch (75 kHz/ch)	1,728 kHz,12ch (144 kHz/ch)	300 kHz x 2,8ch (75 kHz/ch)	100 kHz,1ch (100 kHz/ch)
ความเร็วในการส่งข้อมูล	384 kbps	1,152 kbps	384 kbps	72 kbps
กำลังงานเอาท์พุทของ CS	500mW Ave. (4W) 20mW Ave. (160mW) 10mW Ave. (80mW)	10mW Ave. (250mW)	100mW Ave. (800mW)	5mW Ave. (10mW)
กำลังงานเอาท์พุทของ PS	10mW Ave. (80mW)	10mW Ave. (250mW)	25mW Ave. (200mW)	5mW Ave. (10mW)
เฟรม TDMA	5 ms	10 ms	2.5 ms	2 ms
การจัดช่องสัญญาณ	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)	แบบ Fixed or QSAFA (แบบตายตัวหรือ- -กึ่งอัตโนมัติ)	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)
รัศมีครื่นวิทยุ	100 ~ 500m	50 ~ 150m	300 ~ 500m	50 ~ 150m
การเคลื่อนที่	ความเร็วของรถยนต์ในย่านธุรกิจ	ความเร็วในการเดิน	ความเร็วของรถยนต์ในย่านธุรกิจ	อยู่กับที่
รูปแบบการติดต่อ	แบบสองทาง (ไทรเข้าและไทรออกได้)	แบบสองทาง (ไทรเข้าและไทรออกได้)	แบบสองทาง (ไทรเข้าและไทรออกได้)	แบบทางเดียว (เฉพาะไทรออก)
ความสามารถในการขยายแถบความถี่	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)	มีข้อจำกัดในการขยายแถบความถี่ (FDD)	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)
ปีที่วางมาตรฐาน	1993/12	1992/10	1995/4~6	?
ปีที่ให้บริการสาธารณะ	1995/7 ทดลองใช้ที่ - ชิบูโปโร ในปี 1993 - โตเกียว และฮ่องกง ในปี 1994	1996/? ทดลองใช้ที่ - ฟินแลนด์ นอร์เวย์ ในปี 1994	1997/? ยังไม่มีการทดลองใช้จริง (1996)	? ใช้ในไทยแล้ว
ผู้ผลิต	Motorola, NEC, Fujitel Mitsubishi, Panasonic Oki, Toshiba, ect. (23 ผู้ผลิต)	Phillips*, Ericson*, Siemens*, Nokia*, Alcatel* (*PABX Type) (5 ผู้ผลิต)	Motorola, NEC, Hughes, Panasonic, Hittachi (5 ผู้ผลิต)	Motorola ?
การประเมินผล	1.ระบบมีความสมดุลย์ (เหมาะสำหรับใช้ในที่สาธารณะ ในออฟฟิศหรือใช้ตามบ้าน 2.สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้อีกมาก 3.ใช้การกำหนดช่องสัญญาณแบบ Dynamic (เลือกความถี่อัตโนมัติ)	1.ส่วนใหญ่ใช้ในออฟฟิศ (เหมาะสำหรับชุมสายอัตโนมัติที่มีการใช้งานมาก) 2.การจัดเฟรมขนาดใหญ่ทำให้ค่า Delay spread มีมาก	1.มีข้อจำกัดในการขยายช่องสัญญาณวิทยุ(FDD) 2.การจัดช่องสัญญาณถูกกำหนดตามสถานีฐาน (ใช้การกำหดช่องสัญญาณแบบกึ่งอัตโนมัติ)	1.ไม่สะดวกในการใช้งานเพราะไทรออกได้ทางเดียว 2.ย่านความถี่นี้ขยายอีกไม่ได้เพราะใกล้กับระบบเซลลูล่าร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีเบื้องต้นของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

ในปัจจุบันประเทศไทย โดยองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (TOT: Telephone Organization of Thailand) ได้อนุมัติให้บริษัท เทเลคอมเอเซีย จำกัด (มหาชน) (TA: Telecom Asia Co., Ltd.) นำระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS (Personal Handy-phone System) มาเปิดให้บริการในประเทศไทย และใช้ชื่อว่าโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (PCT: Personal Communication Telephone) โดยมีการปรับปรุงโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS ให้มีคุณสมบัติพิเศษขึ้น และเหมาะสมกับประเทศไทย 3 ประการ คือ

1. ใช้หมายเลขของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเป็นหมายเลขเดียวกับหมายเลขโทรศัพท์บ้าน เพื่อให้ง่ายต่อการจดจำหมายเลข และเป็นการพัฒนาไปสู่หมายเลขส่วนบุคคล (Personal number)
2. ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะใช้เซลที่มีขนาดใหญ่กว่าเซลในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS เพื่อลดปริมาณทราฟฟิกและลดจำนวนครั้งของการข้ามเซล (Hand over) ทำให้สามารถทำการติดต่อสื่อสารภายในยานพาหนะด้วยความเร็วที่สูงถึง 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
3. ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีได้นำเอาโครงข่าย 3 โครงข่าย คือ โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน (PSTN : Public Switched Telephone Network) โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS และโครงข่ายอัจฉริยะ (IN : Intelligent Network) มาทำงานร่วมกัน เพื่อให้เกิดฟังก์ชั่นที่ต้องการของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที เช่น การใช้หมายเลขของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเป็นหมายเลขเดียวกับหมายเลขโทรศัพท์บ้าน

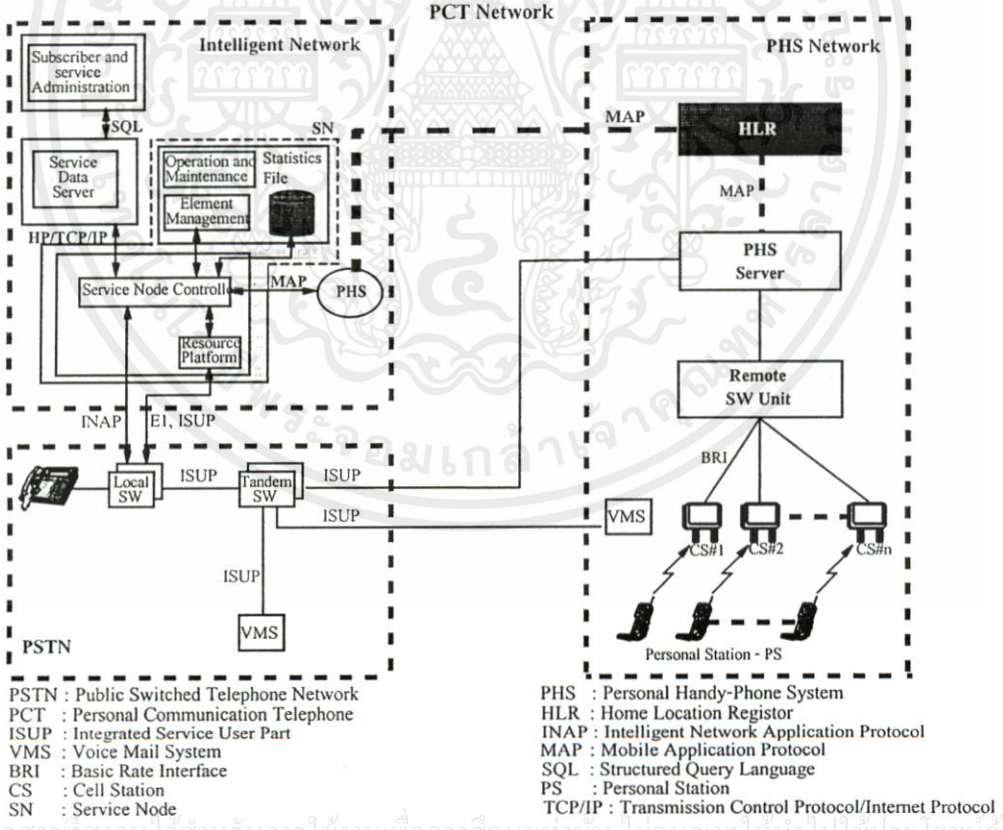
สำหรับรายละเอียดและคุณสมบัติทางเทคนิคของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.1 เทคโนโลยีของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีซึ่งประกอบด้วยโครงข่าย 3 โครงข่ายทำงานร่วมกันคือ โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน PSTN โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS และโครงข่ายอัจฉริยะ IN สำหรับลักษณะการเชื่อมโยงของทั้ง 3 โครงข่ายจะแสดงดังรูปที่ 2.1 โดยโครงข่ายอัจฉริยะจะเป็นโครงข่ายที่ใช้คอมพิวเตอร์และซอฟแวร์มาช่วยในการจัดการในส่วนของรูปแบบการให้บริการเสริมที่เพิ่มเติมจากบริการหลักของโทรศัพท์พื้นฐาน หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

เช่น การให้บริการเบอร์โทรฟรี (Free Phone) การให้บริการโทรศัพท์ใช้การ์ด (Card Calling Service) หรือการให้บริการเก็บเงินในอัตราลดพิเศษ (Premium Rate Service) เป็นต้น แต่ในกรณีที่นำ โครงข่ายอัจฉริยะ IN มาใช้ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะให้บริการในรูปแบบของการให้บริการหมายเลขเดียว (One Number Service) ส่วนโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS จะถูกปรับปรุงให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นในประเทศไทยให้ได้ดียิ่งขึ้น โดยการใช้เซลสเตชั่นที่มีขนาดสูงกว่าที่ใช้ในประเทศญี่ปุ่น คือ ในประเทศไทยจะมีการใช้งานเซลสเตชั่นขนาด 200 มิลลิวัตต์ เพื่อขยายพื้นที่ครอบคลุมการให้บริการของเซลให้มีขนาดใหญ่มากขึ้น และเพื่อให้สามารถใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในรถยนต์หรือยานพาหนะอื่นๆ ด้วยความเร็วที่สูงขึ้นกว่าที่ใช้ในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS สำหรับเซลสเตชั่นเหล่านี้จะถูกติดตั้งไว้ตามเสาไฟฟ้าบริเวณริมถนน โดยจะทำการวางเซลสเตชั่นต่อเนื่องกันในลักษณะลูกโซ่ เพื่อให้สามารถทำการติดต่อสื่อสารข้ามเซลได้ นอกจากนี้ในแต่ละเซลสเตชั่นยังมีการเชื่อมโยงกับคู่สายโทรศัพท์พื้นฐาน PSTN ชนิด 2 คู่สาย เพื่อการส่งรับสัญญาณในรูปแบบของ ISDN (Integraded Services Digital Network)



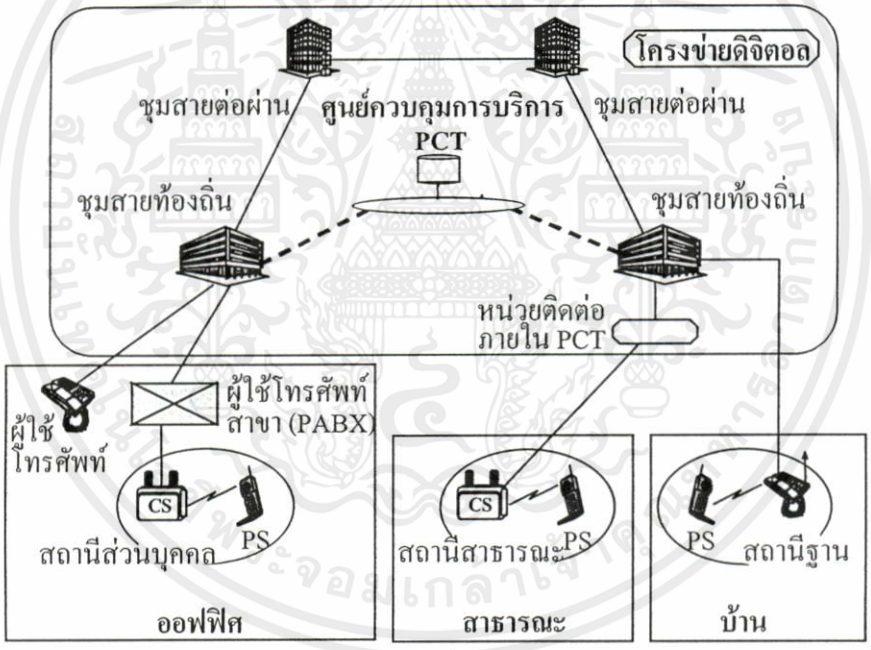
รูปที่ 2.1 แสดงโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

2.2.1 มาตรฐานการทำงาน

ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะใช้มาตรฐานการเชื่อมโยงโครงข่ายตามมาตรฐาน JT-Q921-b JT-Q931-b JT-Q1218 JT-Q1218-a JT-Q932-a JT-1460 JT-1430 และ JT-1961 ของ Telecommunications Technology Committee (TTC) และสำหรับมาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศ (Air Interface) นั้น ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะใช้มาตรฐาน RCR STD 28 V.2 ของ ARIB (The Association of Radio Industries and Businesses)[13] ซึ่งตามข้อกำหนดนี้โครงสร้างโครงข่ายของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่างเซลสเตชั่น กับเซิร์ฟเวอร์ จะเป็นแบบ ISDN ที่มีสัญญาณดิจิตอลความเร็ว 32 kbps แบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulator) ส่วนสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่าง PCT Switch จะใช้ความเร็ว 384 kbps



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

2.2.2 การใช้งานความถี่

ความถี่ที่ใช้สำหรับโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีแสดงดังตารางที่ 2.1 ซึ่งจะแบ่งความถี่ออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มของความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล เช่น การใช้งานในลักษณะอินเตอร์คอม คือการสื่อสารระหว่างเครื่อง PS ด้วยกัน โดยไม่มีเซลสเตชั่นเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะใช้ความถี่ในช่องที่ 1-10 สำหรับการใช้งานส่วนบุคคลภายในสำนักงานหรือที่อยู่อาศัยต่างๆ ในรูปแบบของ Wireless PABX จะใช้งานความถี่ตั้งแต่ช่องที่ 11-37 โดยมีช่องสัญญาณควบคุมใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องที่ 12, 18, 30 และ 36 ตามลำดับ และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นความถี่ที่ใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ ซึ่งจะใช้ความถี่ตั้งแต่ช่องที่ 38 - 69 โดยมีช่องสัญญาณควบคุมในช่องที่ 70-77

ตารางที่ 2.1 การใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

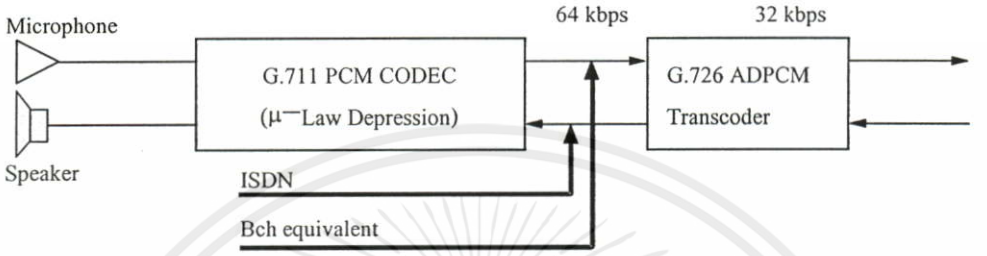
ช่องที่	ความถี่	ลักษณะการใช้งาน
1 ~ 10	1895.15 ~ 1897.85 MHz (แต่ละช่องสัญญาณความถี่ห่างกัน 300 kHz)	ความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล (Private Mode) และการสื่อสารระหว่างเครื่อง PS ด้วยกัน (Tranceiver Mode : PS→PS)
11	1898.15 MHz	ความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารภายในอาคารสำนักงาน ที่อยู่อาศัย ในรูปแบบของ Wireless PABX
12	1898.45 MHz	ช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล (Private Mode)
13 ~ 17	1898.75 ~ 1899.95 MHz (แต่ละช่องสัญญาณความถี่ห่างกัน 300 kHz)	ความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารภายในอาคารสำนักงาน ที่อยู่อาศัย ในรูปแบบของ Wireless PABX
18	1900.25 MHz	ช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล (Private Mode)
19 ~ 37	1900.55 ~ 1905.95 MHz (แต่ละช่องสัญญาณความถี่ห่างกัน 300 kHz)	ความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารภายในอาคารสำนักงาน ที่อยู่อาศัย ในรูปแบบของ Wireless PABX
38 ~ 69	1906.25 ~ 1915.55 MHz	ความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะภายนอกอาคาร (Public mode)
70	1915.85 MHz	Guard Channel
71	1916.15 MHz	ช่องสัญญาณควบคุมสำรอง
72	1916.45 MHz	Guard Channel
73	1916.75 MHz	ช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะภายนอกอาคาร (Public mode)
74	1917.05 MHz	Guard Channel
75	1917.35 MHz	ช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะภายนอกอาคาร (Public mode)
76	1917.65 MHz	Guard Channel
77	1917.95 MHz	ช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะภายนอกอาคาร (Public mode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

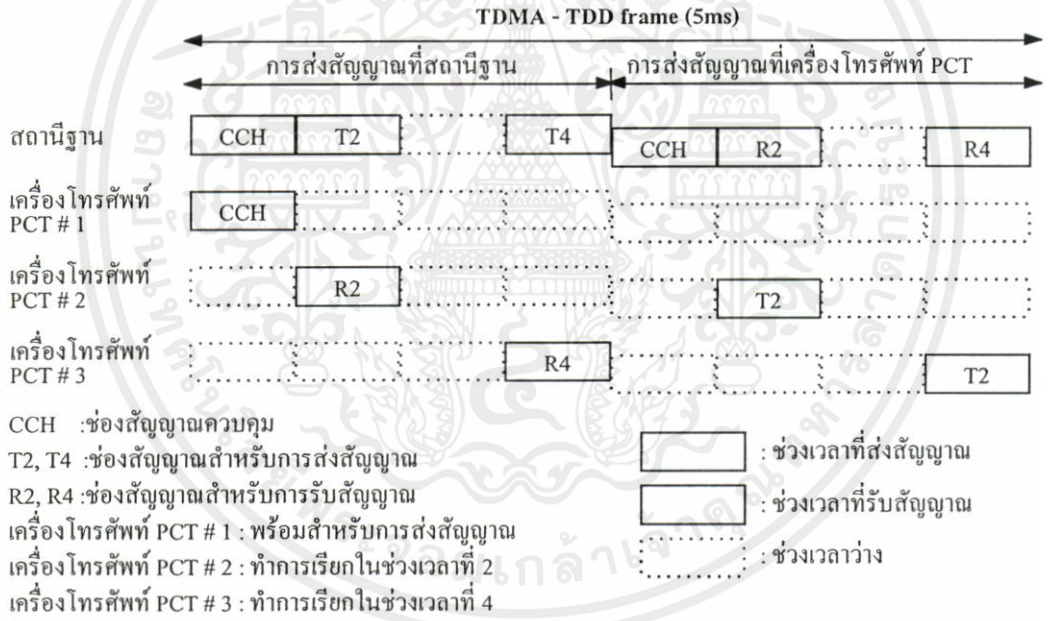
2.2.3 ลักษณะการทำงาน

2.2.3.1 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณดิจิตอล

เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณดิจิตอลของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะใช้เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณแบบ ADPCM ตามมาตรฐาน G.711 และ G.726 ของ ITU-T [14] ซึ่งมีสาระสำคัญเกี่ยวกับการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลดังบล็อคไดอะแกรมในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงบล็อคไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด



รูปที่ 2.4 แสดงการจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD

ในรูปที่ 2.4 แสดงการจัดช่องสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ซึ่งจะมีช่องสัญญาณในการติดต่อ 4 ช่องเวลา โดยการใช้เทคนิคแบบ TDMA/TDD (Time Division Multiple Access/Time Division Duplex) จึงทำให้มีช่องเวลาส่ง 4 ช่อง (มี 1 ช่องสัญญาณควบคุม) และช่องเวลารับ 4 ช่อง (มี 1 ช่องสัญญาณควบคุม) ในการทำงานปกติจะใช้ 1 ช่องส่ง และ 1 ช่องรับ ดังนั้นใน 1 เซลของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะสามารถทำการติดต่อได้พร้อม ๆ กัน 3 คู่สนทนา นั่นคือ เซลสเตชั่น 1 ตัว จะใช้เครื่องลูกข่ายได้ 3 ตัวพร้อม ๆ กัน ซึ่งจะมีประโยชน์มากสำหรับการให้บริการแบบหลากหลายข้อมูล เช่น ในระบบ Multimedia เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 วิธีการมอดูเลทสัญญาณ

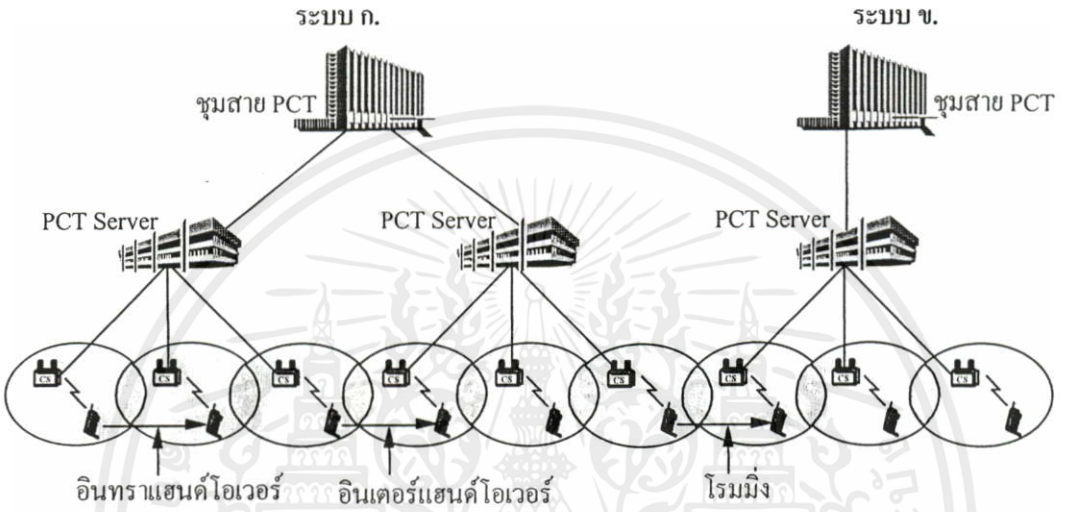
ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้นเป็นระบบโทรศัพท์แบบดิจิตอล ข้อมูลที่ออกมาจากเครื่องลูกข่ายจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้เทคนิคการแปลงสัญญาณแบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) และใช้เทคนิคการมอดูเลทสัญญาณแบบ $\pi/4$ QPSK ($\pi/4$ Quadrature Phase Shift Keying) ซึ่งเป็นเทคนิคการมอดูเลทสัญญาณที่ปรับปรุงมาจากการมอดูเลทแบบ QPSK โดยเทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณแบบ $\pi/4$ QPSK สามารถใช้ได้กับการเข้ารหัสสัญญาณทั้งแบบ Absolute phase encoding และแบบ Differential phase encoding

2.2.3.3 การข้ามเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

การข้ามเซลของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะใช้เทคนิคการแฮนด์โอเวอร์ (Handover) เนื่องจากเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีมีขนาดเล็กมากในระดับไมโครเซล โดยมีรัศมีครอบคลุมการให้บริการใน 1 เซล ประมาณ 300 - 400 เมตร เท่านั้น การติดต่อสื่อสารในลักษณะที่มีการเคลื่อนที่จากเซลหนึ่งไปยังอีกเซลหนึ่ง จึงไม่สามารถใช้เทคนิคการแฮนด์ออฟ (Hand-off) เช่น ในโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์ทั่วๆ ไปได้ เพราะเทคนิคการแฮนด์ออฟนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการส่งถ่ายข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์จากเซลหนึ่งไปอีกเซลหนึ่ง เพื่อทำการจัดเตรียมช่องสัญญาณเอาไว้รองรับล่วงหน้า ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการถ่ายโอนข้อมูลพอสมควร ในกรณีที่เซลมีขนาดเล็ก เช่น ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้น จะไม่มีเวลาเพียงพอสำหรับการถ่ายโอนข้อมูล ดังนั้นในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจึงนำกระบวนการแฮนด์โอเวอร์มาใช้ ซึ่งมีการทำงานคือ เมื่อสัญญาณที่รับได้จากเครื่อง PS มีระดับของสัญญาณต่ำลงจนถึงระดับ 25 dBμV เครื่อง PS ก็จะทำการตรวจหาสัญญาณจากเซลข้างเคียง โดยจะเลือกเซลที่มีสัญญาณแรงที่สุด แต่ในกรณีที่ช่องสัญญาณของเซลที่มีสัญญาณแรงที่สุดเต็ม เครื่อง PS ก็จะเปลี่ยนไปเลือกเซลที่สัญญาณแรงเป็นอันดับ 2 แทน และเมื่อหาเซลใหม่ที่มีสัญญาณแรงที่สุดได้แล้ว เครื่อง PS ก็จะทำการยกเลิกการสื่อสารในเซลเดิมและเปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณในเซลใหม่ เพื่อทำการสื่อสารต่อไป สำหรับในช่วงเวลาที่มีการข้ามเซลนี้ เครื่อง PS จะส่งสัญญาณควบคุมไปจับช่องสัญญาณควบคุมในเซลใหม่ โดยไม่สนใจการติดต่อสื่อสารในช่วงเวลานั้น ซึ่งจะส่งผลให้ผู้ที่ใช้เครื่อง PS อยู่ในช่วงเวลาที่มีการข้ามเซล จะไม่ได้ยินเสียงการสนทนาหรือที่เรียกว่า Muting เป็นเวลาประมาณ 2-3 วินาที สำหรับการใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเมื่อมีการเคลื่อนที่ โดยทั่วไปจะสามารถใช้งานได้ที่ความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเท่านั้น ในรูปที่ 2.5 แสดงการแฮนด์โอเวอร์ ซึ่งการแฮนด์โอเวอร์สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบที่ 1 เรียกว่า อินทราแฮนด์โอเวอร์ เป็นการข้ามเซลในกลุ่มของ PCT Server เดียวกัน แบบที่ 2 เรียกว่า อินเตอร์แฮนด์โอเวอร์ เป็นการข้ามเซลที่อยู่ต่าง PCT Server กัน และในแบบที่ 3 เรียกว่า การโรมมิ่ง (Roaming) คือการข้ามเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพา

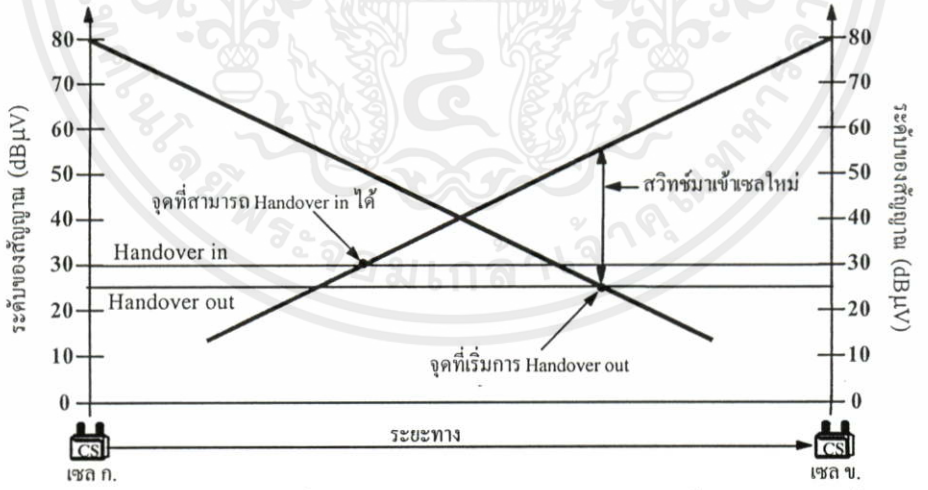
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนบุคคลพีซีทีที่ต่างผู้ให้บริการกัน ในการข้ามเซลด้วยวิธีการแฮนด์โอเวอร์แต่ละแบบนั้นจะใช้เวลาไม่เท่ากัน โดยสังเกตได้จากการเกิดการ Muting ขณะที่ส่งสัญญาณควบคุมในการข้ามเซล ซึ่งจะประมาณ 2 3 และ 4 วินาที ตามลำดับ ดังนั้นในการออกแบบหรือการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวางรูปแบบของเซลให้มีการข้ามเซลอยู่ในกลุ่มเซลของ PCT Server เดียวกัน เพื่อลดเวลาในการ Muting ให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้



PCT : โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (Personal Communication Telephone) CS : สถานีเซล (Cell Station)

รูปที่ 2.5 แสดงการแฮนด์โอเวอร์ทั้ง 3 แบบ ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที



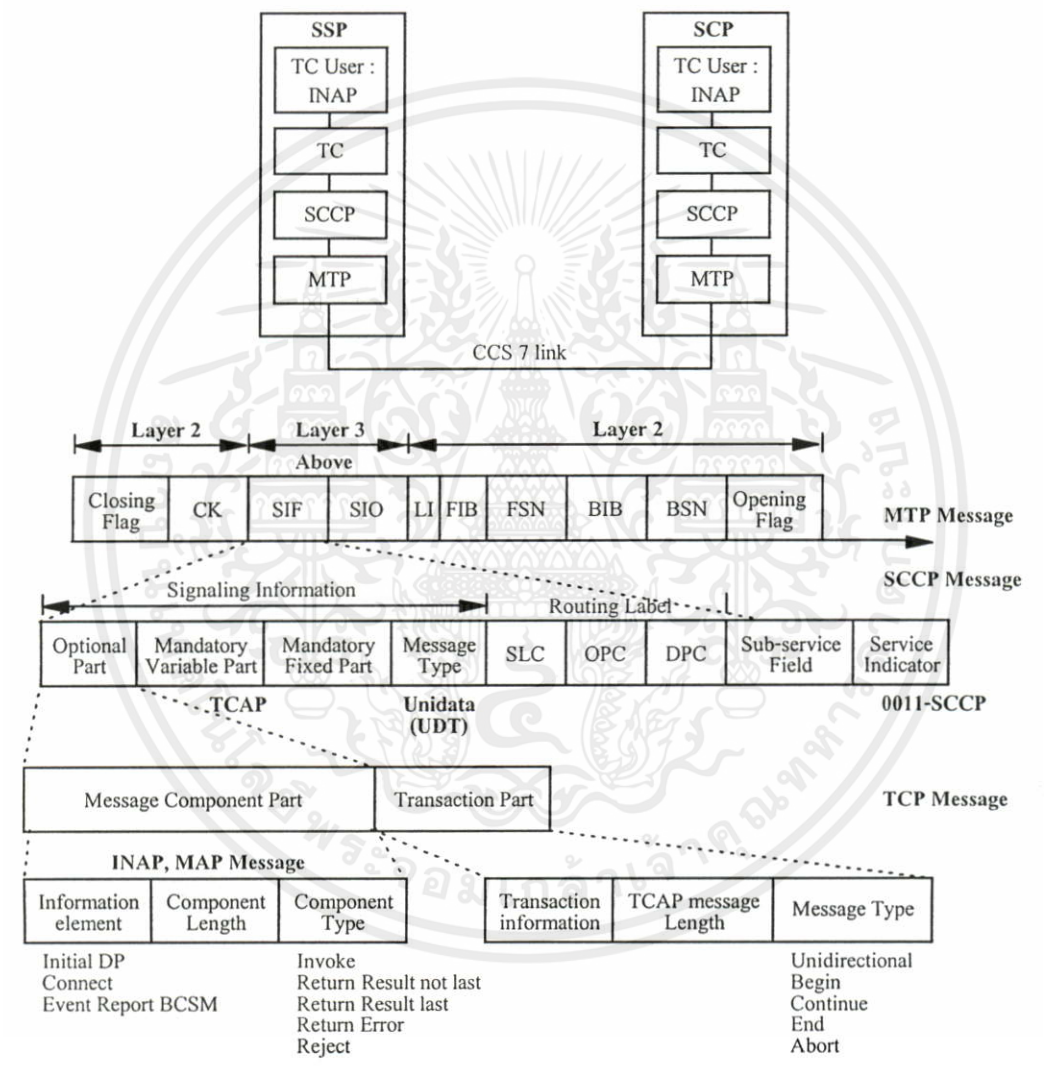
รูปที่ 2.6 แสดงระดับของสัญญาณที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ข้ามเซลหนึ่งไปอีกเซลหนึ่ง

สำหรับการข้ามเซลด้วยการใช้เทคนิคการแฮนด์โอเวอร์นั้นจะใช้ระดับของสัญญาณเป็นตัวกำหนด โดยระดับของสัญญาณที่เครื่อง PS เริ่มทำการแฮนด์โอเวอร์ เราเรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์เอาท์ (Handover out : 25 dBμV) และระดับสัญญาณของอีกเซลหนึ่งที่มารองรับการแฮนด์โอเวอร์เข้ามาในเซลใหม่ เรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์อิน (Handover in : 30 dBμV) ดังแสดงในรูปที่ 2.6

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

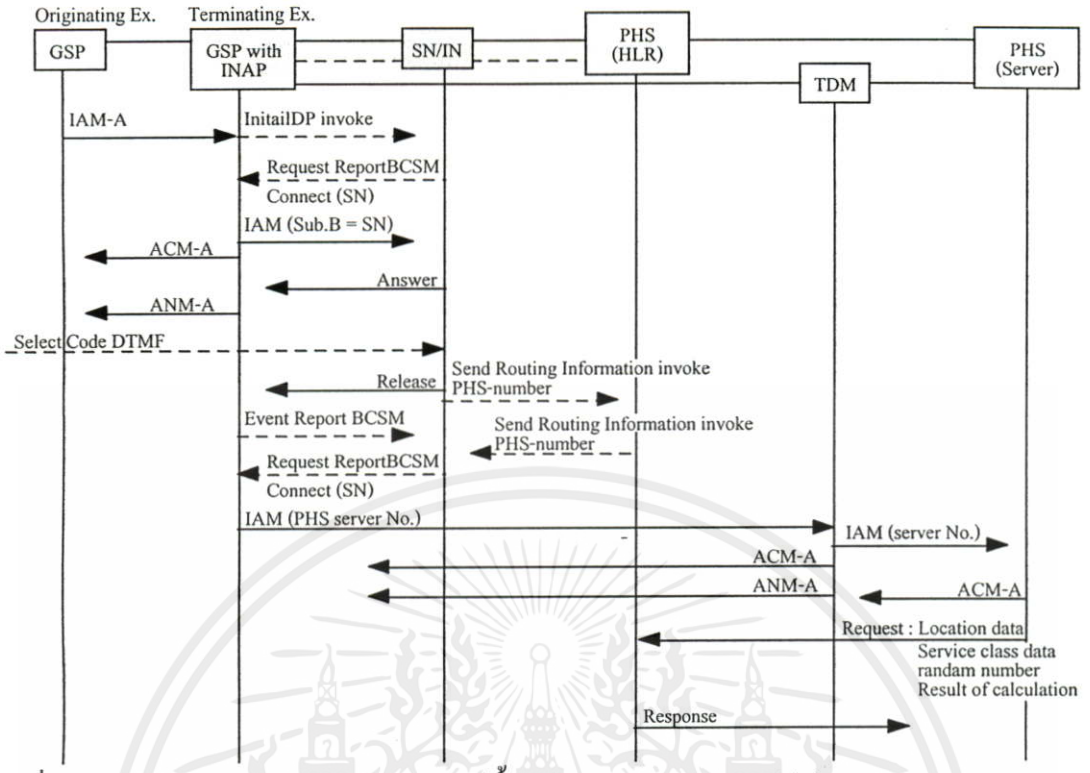
2.2.3.4 ระบบโปรโตคอลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

โปรโตคอลที่ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีใช้สำหรับการติดต่อระหว่างชุมสาย (SSP : Service Switching Point) กับส่วนของการควบคุมการให้บริการ (SCP : Service Control Point) นั้น จะใช้ฟังก์ชั่นของการทำงานในระบบควบคุมสัญญาณหมายเลข 7 (CCS No.7) โดยระดับของโปรโตคอล และเฟรมของสัญญาณควบคุมจะแสดงดังในรูปที่ 2.7 สำหรับลำดับขั้นของการติดต่อสื่อสารจะแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 แสดงระดับชั้นของโปรโตคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดของสัญญาณควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ลำดับการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

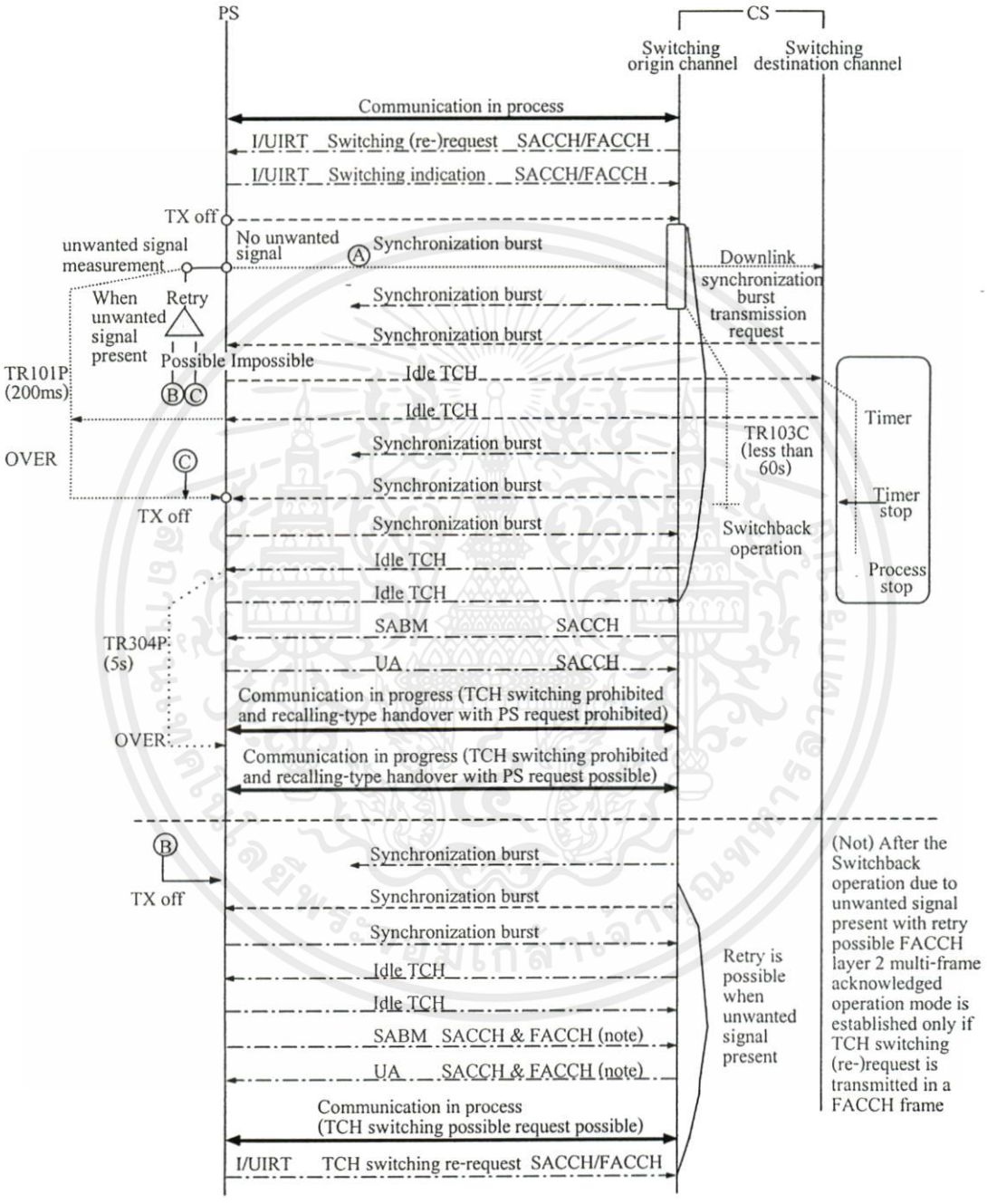
สำหรับโปรโตคอลที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะแสดงดังรูปที่ 2.9 และรูปที่ 2.10 โดยในรูปที่ 2.9 แสดงโปรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลหนึ่งไปยังอีกเซลหนึ่ง และในกรณีที่ไม่สามารถทำการแฮนด์โอเวอร์ได้สำเร็จตามขั้นตอนในรูปที่ 2.9 ก็จะทำการสวิทซ์เครื่อง PS ให้พยายามใช้เซลเดิมไปก่อน ซึ่งมีลำดับขั้นการทำงานตามรูปที่ 2.10 โดยในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่อง PS และ CS นั้น จะเป็นไปตามมาตรฐาน Air-interface RCR-28

2.2.3.5 รายละเอียดของเซลสเตชั่นและเครื่องลูกข่าย (เครื่อง PS)

เซลสเตชั่นที่นำมาใช้ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดติดตั้งภายในตัวอาคาร โดยจะมีกำลังส่ง 10 mW และชนิดติดตั้งนอกอาคาร มีกำลังส่งขนาด 20 mWและ 200 mW สำหรับลักษณะของเครื่องลูกข่าย หรือเครื่อง PS ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะมีลักษณะคล้ายกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วๆ ไป หรืออาจจะมีขนาดเล็กกว่าเนื่องจากใช้ความถี่ในย่านสูงกว่าปกติ คือ ประมาณ 1.9 GHz น้ำหนักของเครื่องจะอยู่ประมาณ 90-150 กรัม ขนาดของเครื่องประมาณ 40 W x 120H x 15D มิลลิเมตร และมีแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จได้ (Ni-Cd, Ni-MH, Lithium Ion)ซึ่งสามารถเปิดเครื่องรอรับสายได้นานถึง 500 ชั่วโมงขึ้นไปถึง 600 ชั่วโมง และสามารถใช้สนทนาได้นานถึง 5 ชั่วโมงขึ้นไป จึงทำให้การใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

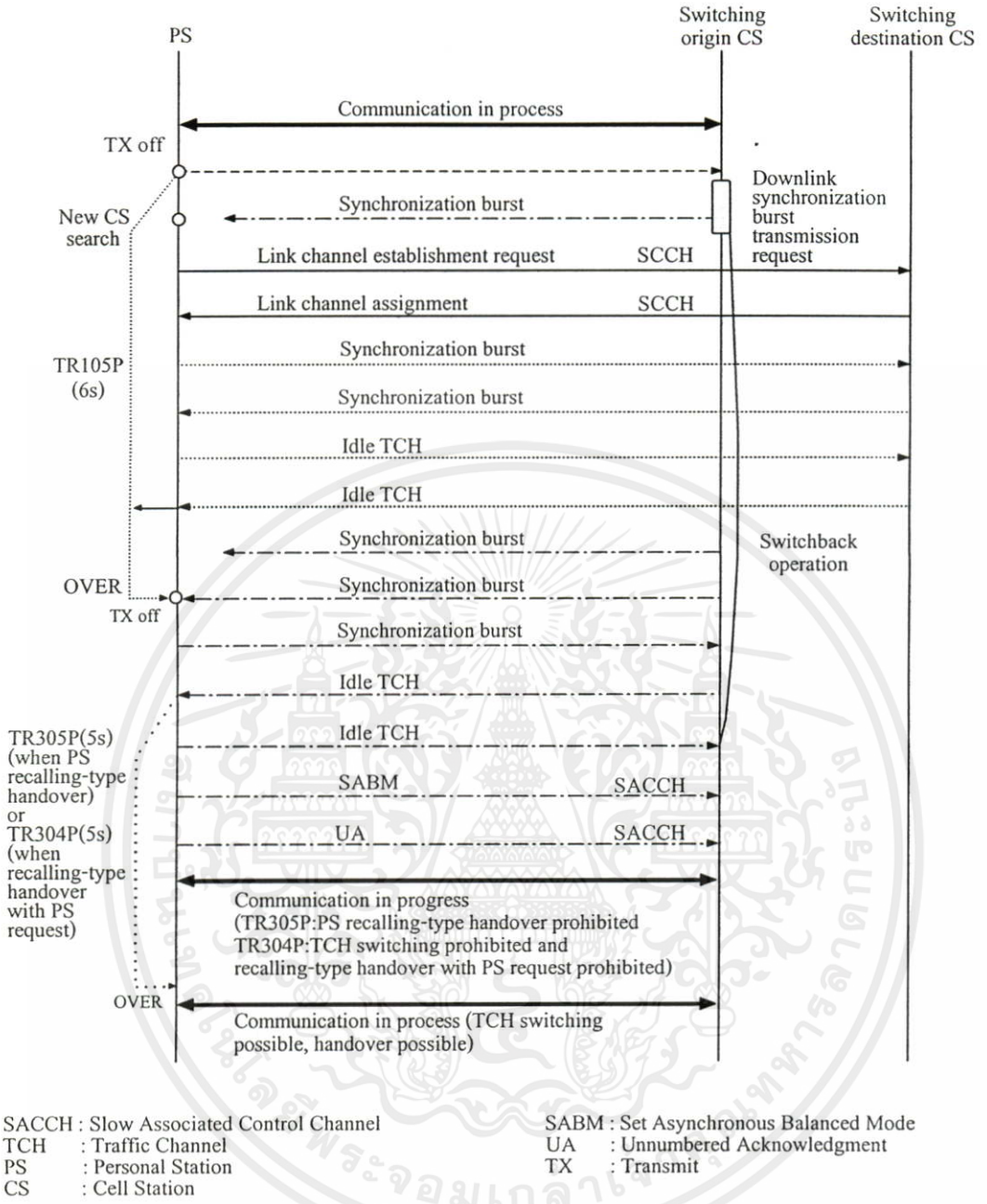
สะดวกไม่ต้องกังวลในการพกพาแบตเตอรี่สำรอง มีขั้วต่อสำหรับการให้บริการข้อมูลแบบดิจิตอล เช่น FAX, Data terminal ฯลฯ ลักษณะของเซลสเตชั่น CS และเครื่อง PS แสดงในรูปที่ 2.11 และ 2.12 ตามลำดับ ในส่วนการทำงานของเซลสเตชั่น และเครื่อง PS แสดงดังรูปที่ 2.13 และ 2.14



FACCH : Fast Associated Control Channel
TCH : Traffic Channel
UA : Unnumbered Acknowledgment
CS : Cell Station
SACCH : Slow Associated Control Channel
SABM : Set Asynchronous Balanced Mode
TX : Transmit
PS : Personal Station

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 แสดงโปรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลหนึ่งไปยังอีกเซลหนึ่ง

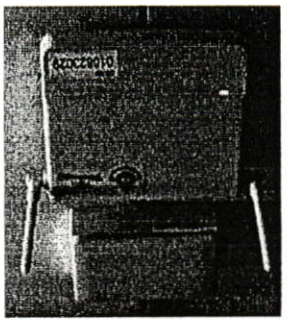


SACCH : Slow Associated Control Channel
TCH : Traffic Channel
PS : Personal Station
CS : Cell Station

SABM : Set Asynchronous Balanced Mode
UA : Unnumbered Acknowledgment
TX : Transmit

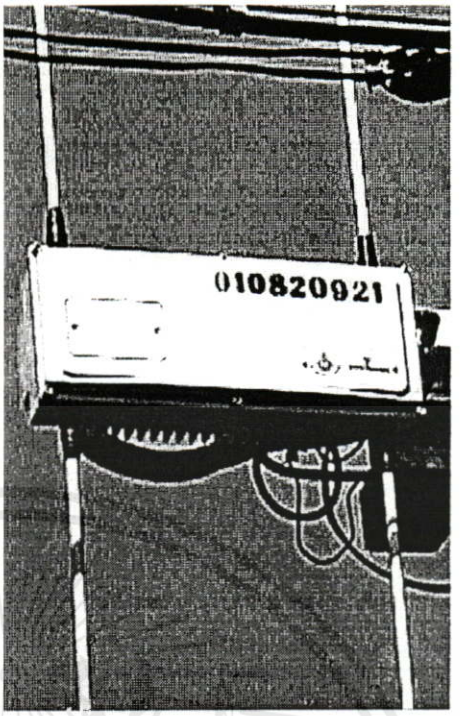
รูปที่ 2.10 แสดงโปรโตคอลของการกลับมาใช้เซลเดิมเมื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ไม่สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แบบ 10 mW

(ข) แบบ 20 mW

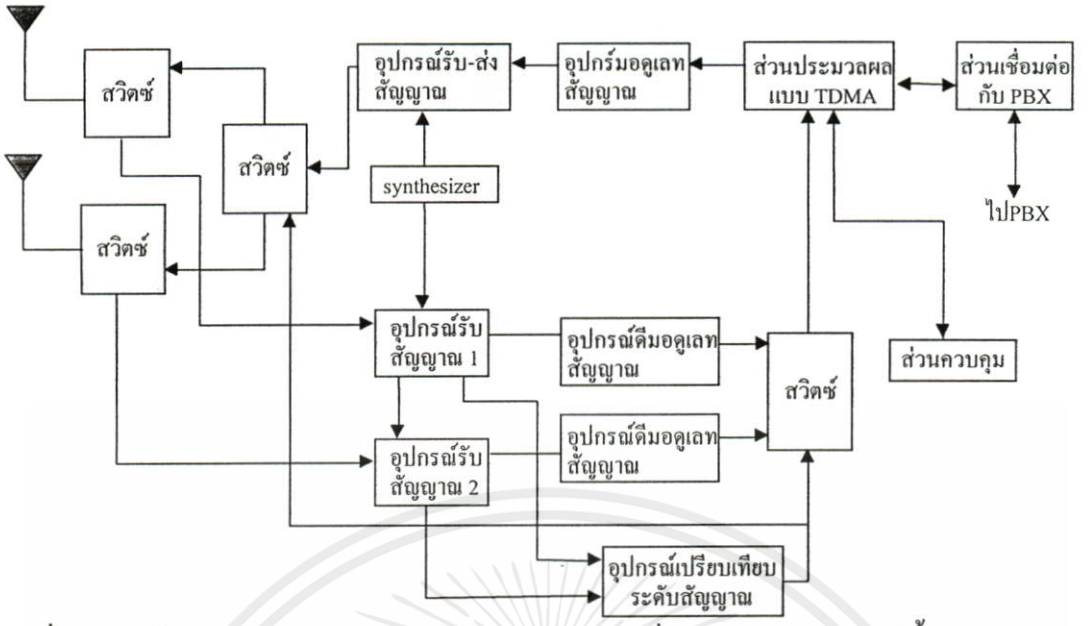


(ค) แบบ 200 mW

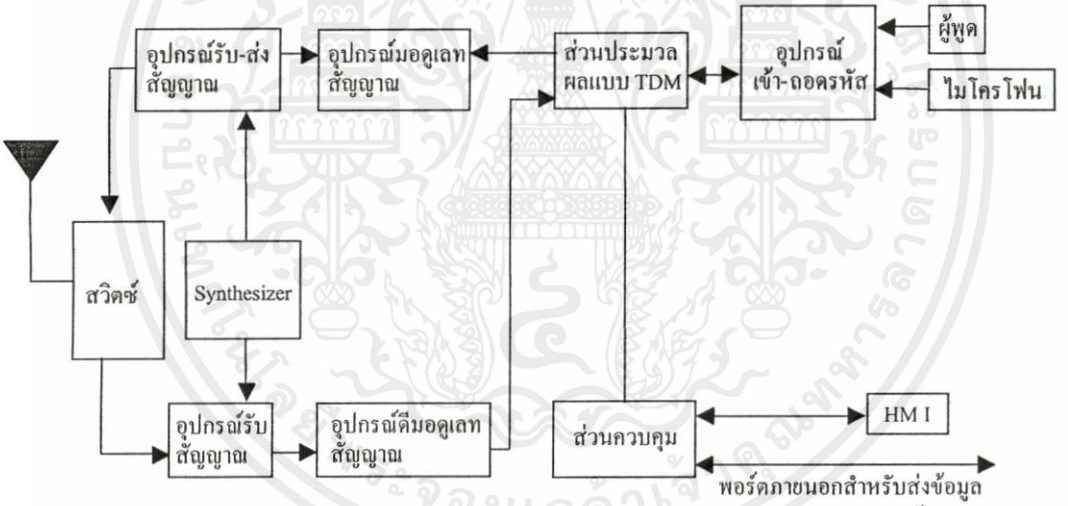
รูปที่ 2.11 แสดงเซลสเตชั่นของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

รูปที่ 2.12 แสดงเครื่อง PS ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 บล็อคไดอะแกรมแสดงการทำงานของเซลสเตชั่นของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

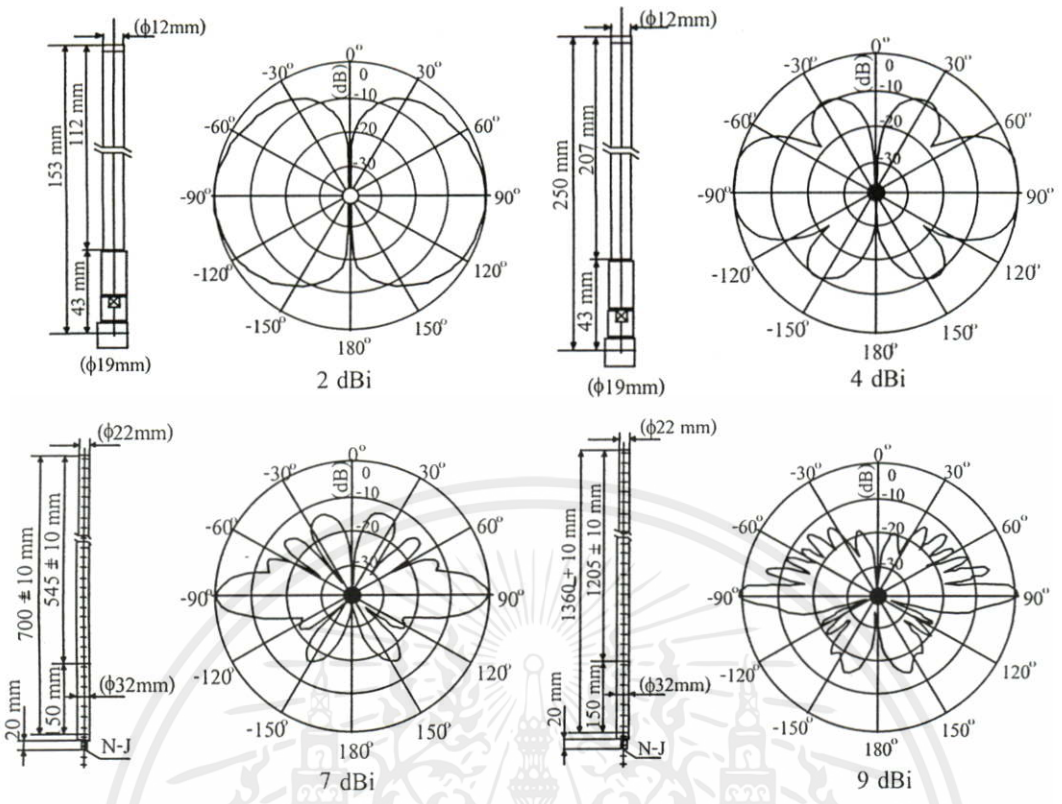


รูปที่ 2.14 บล็อคไดอะแกรมแสดงการทำงานของเครื่อง PS ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

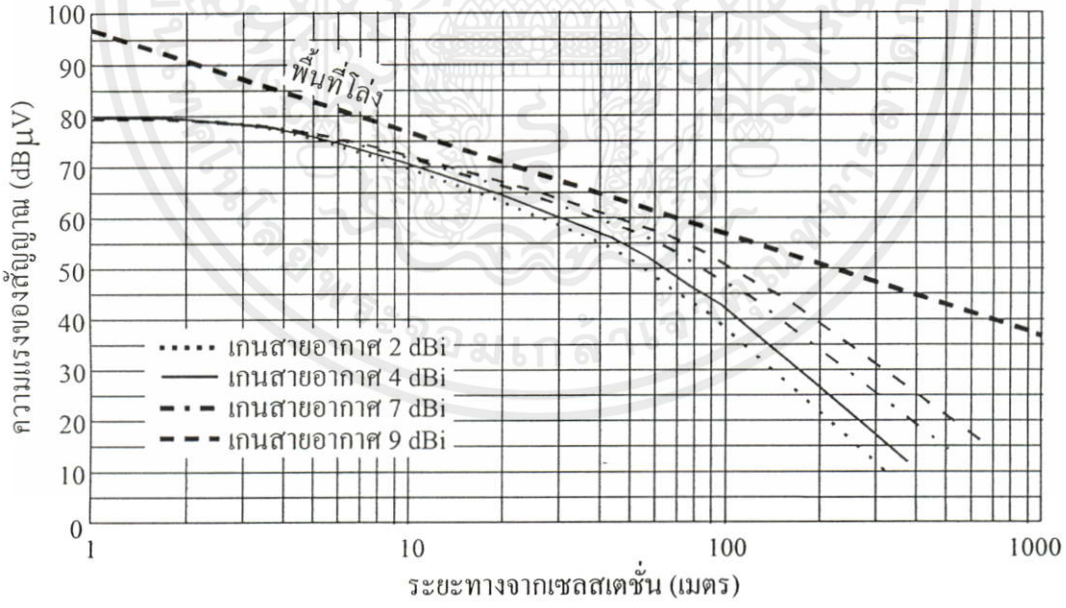
2.2.3.6 สายอากาศของเซลสเตชั่นระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล PCT

สายอากาศของเซลสเตชั่นที่ติดตั้งในประเทศไทยจะใช้สายอากาศที่มีค่าเกน 4 แบบ มีลักษณะดังรูปที่ 2.15 คือ 2 dBi 4 dBi 7 dBi และ9 dBi โดยสายอากาศที่มีค่าเกนต่างๆ ซึ่งจะเห็นว่าสายอากาศที่มีค่าเกนสูง จะสามารถกระจายคลื่นในแนวนอนได้ดีถึงแม้ว่าในแนวตั้งจะมีปัญหาบ้าง เพราะมีไซด์โลปมาก ซึ่งจะเป็นผลให้การกระจายคลื่นไปยังอาคารสูงทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งระยะที่สายอากาศสามารถแพร่กระจายคลื่นไปได้แสดงดังในรูป 2.16

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น



รูปที่ 2.15 แสดงสายอากาศแบบ 2 dBi 4 dBi 7 dBi และ9 dBi

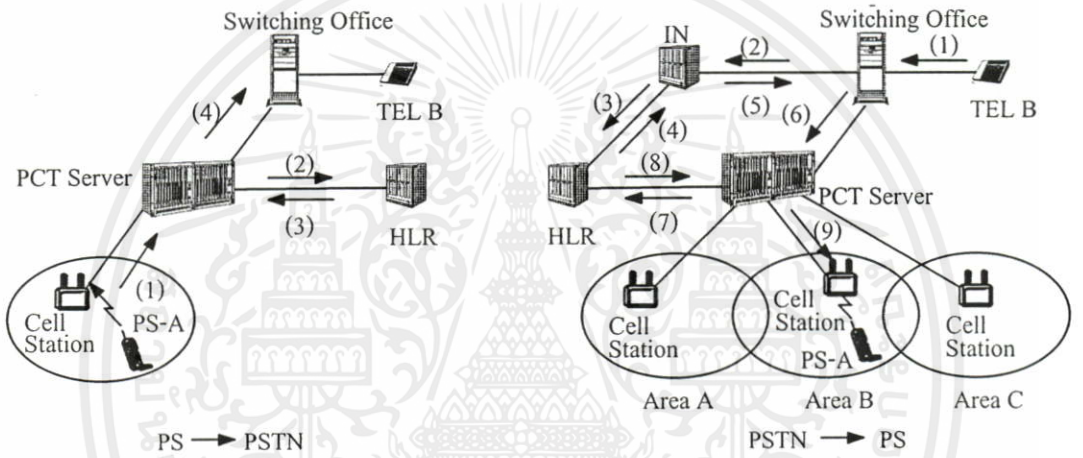


รูปที่ 2.16 แสดงการครอบคลุมของสายอากาศแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

เมื่อมีการเรียกจากเครื่อง PS ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที เข้ามายัง PCT Server ข้อมูลของเครื่อง PS จะถูกส่งไปยัง HLR (Home Location Register) เพื่อทำการตรวจสอบว่า เป็นผู้ใช้บริการที่ถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้อง PCT Server ก็จะทำการเชื่อมต่อไปยังชุมสายปลายทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ในทำนองเดียวกัน เมื่อมีผู้เรียกจากโทรศัพท์พื้นฐานมายังโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ข้อมูลที่ส่งมายัง PCT Server ก็จะถูกส่งไปตรวจสอบยัง HLR ว่าเป็นผู้ใช้บริการที่ถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้องก็จะส่งมายัง PCT Server ให้ทำการเรียกหาใน Paging Area ต่างๆ จนสามารถเรียกเครื่อง PS ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ได้



รูปที่ 2.17 แสดงเส้นทางการเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออกจากโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

2.4 หลักการแพร่กระจายคลื่น

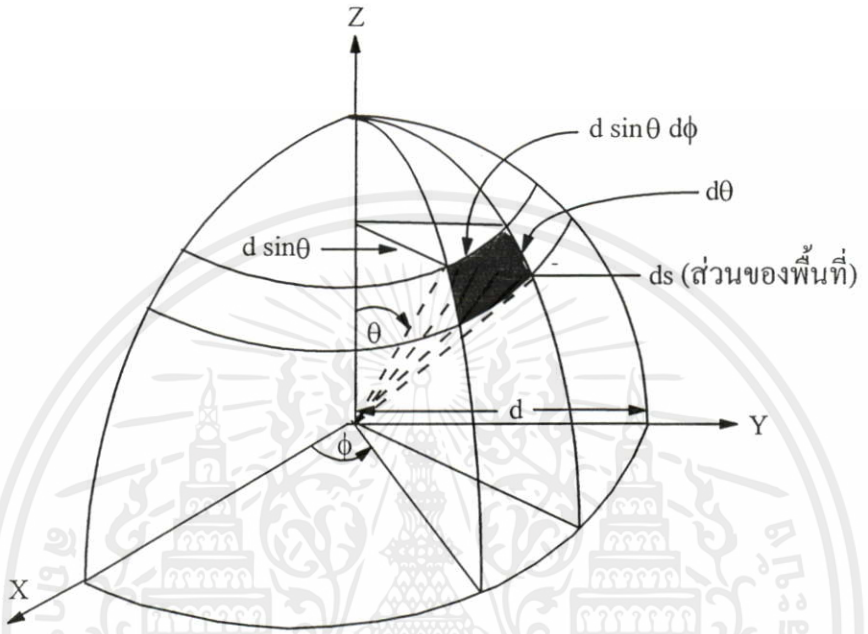
2.4.1 การลดทอนของสัญญาณใน Free Space

การลดทอนของสัญญาณใน Free Space[15] เป็นค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นในช่วงที่มีการส่งและรับสัญญาณระหว่างสถานีฐานกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยพิจารณาในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางทางเดินของสัญญาณ ถ้าสมมุติให้แหล่งกำเนิดสัญญาณเป็นแบบไอโซโทรปิค (Isotropic) การแพร่กระจายของสัญญาณจะเป็นลักษณะการแพร่กระจายแบบรอบทิศทาง ถ้ากำหนดให้กำลังงานที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดสัญญาณมีค่าเท่ากับ P_T การแพร่กระจายของสัญญาณแบบรอบทิศทางสามารถพิจารณาเป็นลักษณะของทรงกลมรอบๆ แหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีรัศมีเป็น d ดังแสดงในรูปที่ 2.18 จึงทำให้กำลังงานที่จุดใดๆ สามารถเทียบได้กับพื้นที่ส่วนเล็กๆ ของพื้นผิวทรงกลม ค่าความหนาแน่นของกำลังงานจะเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_r = \frac{P_T}{4\pi d^2} \tag{2.1}$$

โดย $4\pi d^2$ คือ พื้นที่ของการกระจายคลื่นซึ่งเป็นรูปทรงกลมและมีรัศมี d



รูปที่ 2.18 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิค

ในทางปฏิบัติจะมีการพิจารณาสายอากาศในเรื่องของทิศทางการรับหรือแพร่กระจายคลื่นด้วย นั่นหมายถึงว่า สำหรับสายอากาศแต่ละต้นนั้นจะสามารถแพร่กระจายคลื่นในแต่ละทิศทางได้ไม่เท่ากัน โดยมีอัตราการขยายกำลังของสายอากาศต่อกำลังงานของสายอากาศที่กระจายรอบทิศทางในระยะทางที่เท่ากัน และมีกำลังอินพุทเท่ากัน สมมุติให้ G_t คืออัตราการขยายกำลังของสายอากาศจากเครื่องส่ง ดังนั้นความหนาแน่นของกำลังงานในทิศทางของการแพร่กระจายจะได้เป็น

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \tag{2.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับทางด้านของเครื่องรับก็จะมีการติดตั้งสายอากาศในทิศทางที่สามารถรับสัญญาณได้สูงที่สุด ถ้าสมมุติให้ P_r คือกำลังงานของสายอากาศที่เครื่องรับสามารถรับได้ ดังนั้นค่ากำลังงานที่รับได้จะมีค่าเป็น

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \times \text{พื้นที่ในการรับสัญญาณ} \tag{2.3}$$

และสำหรับสายอากาศใดๆ ก็ตาม ค่าอัตราส่วนของการขยายสูงสุดต่อพื้นที่รับสัญญาณ คือ

$$\frac{\text{พื้นที่ในการรับสัญญาณ}}{G_r} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \tag{2.4}$$

ถ้ากำหนดให้ λ คือความยาวคลื่นของคลื่นที่แพร่กระจาย และ G_r คือค่าอัตราการขยายกำลังของสายอากาศรับ จากสมการที่ 2.3 และ 2.4 จะได้

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} \tag{2.5}$$

สมการที่ 2.5 เป็นสมการพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นในบรรยากาศปกติ โดยความถี่จะมีหน่วยเป็น MHz และระยะทาง d เป็นกิโลเมตร ซึ่งจากความสัมพันธ์ $\lambda = C/f$ เมื่อแทนลงในสมการที่ 2.5 จะได้

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{0.57 \times 10^{-3}}{(d \times f)^2}\right) \tag{2.6}$$

จากสมการที่ 2.6 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ dB คือ

$$\frac{P_r}{P_t} = (G_t)_{dB} + (G_r)_{dB} - (32.44 + 20\log_{10} d + 20\log_{10} f) \tag{2.7}$$

อัตราส่วนของกำลังงานที่รับได้กับกำลังงานที่ส่ง (โดยใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิค และค่าอัตราการขยายกำลังของ G_r และ G_t จะมีค่าเท่ากับ 1) จะเป็นค่าการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น (L) ดังนั้นจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L = 32.44 + 20\log_{10} d + 20\log_{10} f \tag{2.8}$$

2.4.2 วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ

2.4.2.1 วิธีคาดคะเนการลดทอนของสัญญาณของ Okumura

แบบจำลองการลดทอนของสัญญาณของ Okumura[16] เป็นหนึ่งในหลายๆ แบบจำลองของการคาดคะเนระดับของสัญญาณสำหรับเขตพื้นที่ในเมือง โดยแบบจำลองการลดทอนของสัญญาณของ Okumura นั้น จะสามารถใช้งานได้ดีในช่วงความถี่ 150-1920 MHz (ถึงแม้ว่าจะเคยมีการทดลองใช้ที่ความถี่สูงถึง 3000 MHz) และมีระยะทางในช่วง 1-100 กิโลเมตร ที่ความสูงของสายอากาศของสถานีฐานในช่วง 30-1000 เมตร

โดย Okumura ได้พัฒนาแบบจำลองการลดทอนของสัญญาณให้อยู่ในรูปเคริฟความสัมพันธ์ของการลดทอนของสัญญาณใน Free Space (A_{mu}) สำหรับพื้นที่ในเมืองที่มีลักษณะค่อนข้างโล่ง โดยใช้ความสูงของสายอากาศที่สถานีฐาน (h_{te}) 200 เมตร และใช้ความสูงของสายอากาศเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (h_{re}) 3 เมตร ซึ่งเคริฟที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นจากการวัดสัญญาณนั้นได้ใช้สายอากาศแบบ Omni-directional ในแนวตั้ง ทั้งที่สถานีฐานและเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ แล้วทำการพล็อตในรูปฟังก์ชั่นของความถี่ในช่วง 100 - 1920 MHz และฟังก์ชั่นของระยะทางจากสถานีฐานในช่วง 1 - 100 กิโลเมตร ซึ่งมีการกำหนดค่าการสูญเสียโดยใช้โมเดลของ Okumura ค่าการสูญเสียของสัญญาณใน Free space ระหว่างจุดที่กำหนด และค่าความสัมพันธ์ของการลดทอนของสัญญาณใน Free Space (A_{mu}) ซึ่งเป็นค่าที่อ่านได้จากเคริฟ โดยเมื่อนำมารวมกับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะกับสภาพภูมิประเทศ จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.9

$$L_{50}(dB) = L_F + A_{mu}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA} \qquad (2.9)$$

โดยที่ L_{50} คือ 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่น

L_F คือ ค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นใน Free Space

A_{mu} คือ ค่าความสัมพันธ์ของการลดทอนของสัญญาณใน Free Space

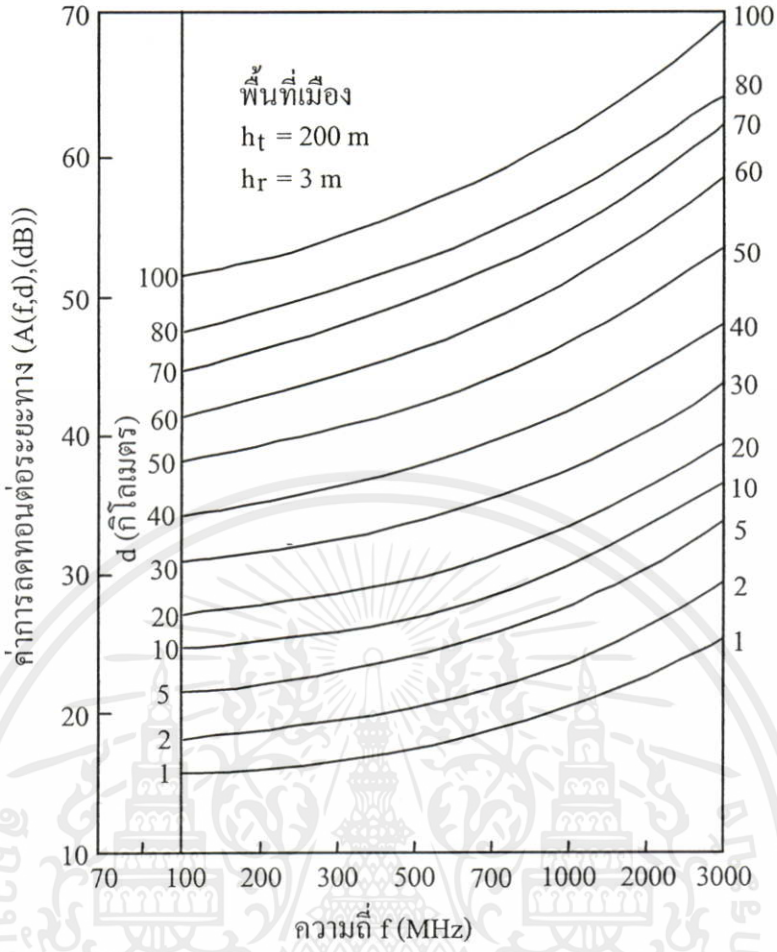
$G(h_{te})$ คือ ค่าเกนความสูงของสายอากาศของสถานีฐาน

$G(h_{re})$ คือ ค่าเกนความสูงของสายอากาศของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

G_{AREA} คือ ค่าเกนที่เกิดขึ้นเนื่องจากสภาพแวดล้อม

การพล็อตค่า $A_{mu}(f,d)$ และค่า G_{AREA} สำหรับช่วงความถี่กว้างๆ จะแสดงดังรูปที่ 2.19 และรูปที่ 2.20 นอกจากนี้ Okumura ยังพบว่า ค่า $G(h_{te})$ จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ 20 dB/decade และค่า $G(h_{re})$ จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ 10 dB/decade สำหรับความสูงที่ต่ำกว่า 3 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการลดทอนสัญญาณ A(f, d)

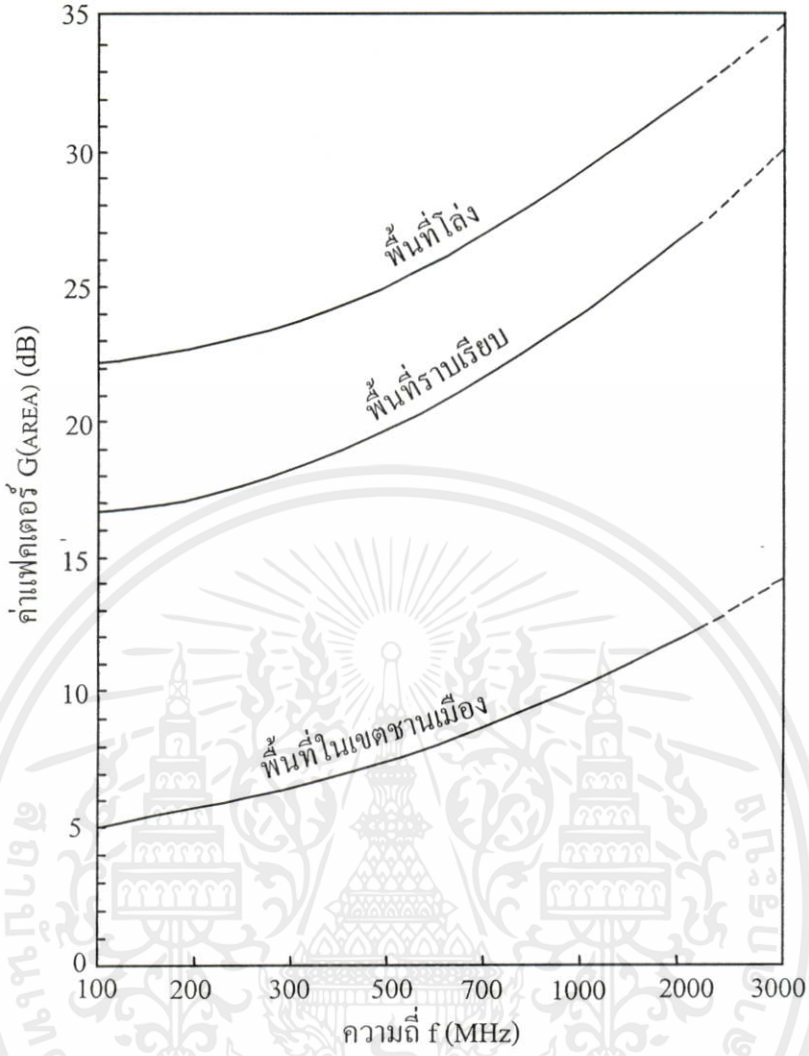
$$G(h_{re}) = 20 \log \frac{h_{te}}{200} \qquad 1000 \text{ เมตร} > h_{re} > 10 \text{ เมตร}$$

$$G(h_{re}) = 10 \log \frac{h_{te}}{3} \qquad h_{re} \leq 3 \text{ เมตร}$$

$$G(h_{re}) = 20 \log \frac{h_{te}}{3} \qquad 10 \text{ เมตร} > h_{re} > 3 \text{ เมตร}$$

สำหรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่างๆ ในโมเดลของ Okumura จะต้องมีการปรับปรุงให้มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ โดยลักษณะภูมิประเทศที่สำคัญได้แก่ พื้นที่ที่มีความสูงที่ไม่สม่ำเสมอ พื้นที่ที่มีลักษณะเป็นเนินหรือพื้นที่ที่มีความลาดเอียง และพื้นที่ที่ติดชายทะเล เป็นต้น ซึ่งลักษณะภูมิประเทศเหล่านี้จะต้องนำมาใช้ในการคำนวณ เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นเคริฟของ Okumura

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 ค่าแฟคเตอร์ $G_{(AREA)}$ ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของพารามิเตอร์ A(f, d)

2.4.2.2 วิธีคาดคะเนการลดทอนของสัญญาณของ Hata

จากวิธีการของ Okumura จะเห็นว่าผลที่ได้จะอยู่ในลักษณะของเคริฟ ซึ่งยุ่งยากในการนำมาวิเคราะห์ Hata[17] จึงได้ทำการแก้ไขค่าต่างๆ จากเคริฟให้อยู่ในรูปของสมการ โดยการกำหนดสภาพพื้นฐานไว้ดังนี้

- การลดทอนของสัญญาณจากการแพร่กระจายคลื่นจะพิจารณาจากสายอากาศแบบไอโซโทรปิค
- สมมุติให้เป็นเขตพื้นที่ราบเรียบและจะไม่นำการลดทอนที่เกิดจากสิ่งกีดขวางมาคิด
- สมการพื้นฐานหลักจะคำนวณจากสภาพแวดล้อมในเขตตัวเมือง สำหรับในพื้นที่อื่นๆ จะมีการใช้แฟคเตอร์ในการแก้ไขจากสมการพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการใช้พารามิเตอร์ในการแก้ไขจากสมการพื้นฐานนั้น Hata ได้ทำการแก้ไขให้อยู่ในรูปของสมการการลดทอนของสัญญาณในการแพร่กระจายคลื่น ตามสมการที่ 2.10

$$L_P = 69.55 + 26.16 \log h_b - a(h_m)^* + (44.9 - 6.55 \log h_b)\log R \qquad (2.10)$$

โดยที่ $f_c = 150 - 1500$ MHz

$h_b = 30 - 200$ เมตร

$h_m = 1 - 10$ เมตร

$R = 1 - 20$ กิโลเมตร

และ $a(h_m)^*$ เป็นพารามิเตอร์สำหรับแก้ไขของสายอากาศของโทรศัพท์เคลื่อนที่เทียบกับสภาพพื้นฐานที่เป็นเขตพื้นที่ตัวเมืองโดย $a = 0$ สำหรับ $h_m = 1.5$ เมตร ในเขตเมืองขนาดเล็ก-กลาง

$$a(h_m)^* = (1.1 \log f_c - 0.7)h_m - (1.56 \log f_c - 0.8) \qquad (2.11)$$

ในเขตเมืองขนาดใหญ่

$$a(h_m)^* = 8.29(\log 1.5\, h_m)^2 - 1.1 \quad \text{โดยที่ } f_c \le 200 \text{ MHz} \qquad (2.12)$$

$$a(h_m)^* = 3.2(\log 11.75\, h_m)^2 - 4.97 \quad \text{โดยที่ } f_c \ge 400 \text{ MHz} \qquad (2.13)$$

ในกรณีที่เป็นพื้นที่ชานเมืองสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$L_{PS} = L_P - 2\left[\log\left(\frac{f_c}{28}\right)^2\right] - 5.4 \qquad (2.14)$$

และในกรณีที่เป็นเขตพื้นที่โล่งจะสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$L_{PO} = L_P - 4.78(\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.49 \qquad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 พื้นที่ครอบคลุมเซล

การครอบคลุมของเซล (Cell coverage) ส่วนมากยึดหลักของการครอบคลุมตามระดับของสัญญาณ (Signal coverage) หรือการครอบคลุมตามขนาดของทราฟฟิค (Traffic coverage) การครอบคลุมของเซลจะกระทำโดยพิจารณาจากระดับของสัญญาณและใช้รูปแบบการคาดการณ์พื้นที่ของเซล ซึ่งถือหลักง่ายๆ คือ สามารถครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด โดยให้มีจำนวนเซลน้อยที่สุด เนื่องจากการครอบคลุมของเซลไม่สามารถทำได้ 100% ของพื้นที่เซล ดังนั้นการวางเซลสเตชั่นจึงถูกกำหนดให้ช่องว่างของเซลไปอยู่ในตำแหน่งที่มีการจราจรน้อยมาก วิธีคาดการณ์แบบนี้เรียกว่าวิธีคาดคะเนแบบจุดต่อจุด ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ โดยการทดสอบสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่มีอยู่ในพื้นที่ให้บริการ เพื่อนำมาใช้หาขนาดของเซล

ผลของการหาขนาดของของเซล โดยวิธีการคาดคะเน (Prediction model) จะมีขอบเขตการให้บริการที่แตกต่างจากการใช้งานจริง จึงมีวิธีการหาขนาดของเซล ให้มีขอบเขตใกล้เคียงกับการใช้งานจริง โดยใช้วิธีการคาดคะเนจากระดับความแรงของสัญญาณ (Field strength prediction model) ในพื้นที่ต่อพื้นที่ การหาขอบเขตจากระดับความแรงของสัญญาณนี้จะทำให้ขอบเขตในแต่ละทิศทางมีค่าแตกต่างกันรอบๆ เซลสเตชั่น โดยปกติแล้วประมาณ 68% ของการคาดคะเนขอบเขตของเซลจะมีค่าความเบี่ยงเบนอยู่ในช่วง 6 dB ถึง 8 dB จากค่าที่ได้จากการวัด ซึ่งก็ถือว่าการคาดคะเนโดยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ดีวิธีหนึ่ง

วิธีการคาดคะเนขนาดของเซลอีกวิธีหนึ่งก็คือ การคาดคะเนแบบจุดต่อจุด (Point-to-point prediction model) ในการคาดคะเนวิธีการนี้จะมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่น้อยกว่า 3 dB ซึ่งจะมีการนำเอาพารามิเตอร์หลายๆ ส่วนมาใช้ในการพิจารณา เพื่อให้ได้ขนาดของเซลที่ใกล้เคียงกับขนาดของเซลในการใช้งานจริง ส่วนต่างๆ ที่นำมาใช้เป็นพื้นฐานของการหาขนาดของเซล ในวิธีการนี้ได้แก่ การเลือกตำแหน่งของเซลสเตชั่น การลดการรบกวนของสัญญาณในช่องความถี่เดียวกัน และการใช้งานของทราฟฟิค เป็นต้น

2.5.1 การหาขนาดพื้นที่ครอบคลุมเซลโดยวิธีการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด

การหาพื้นที่ครอบคลุมเซลโดยใช้วิธีการคาดคะเนแบบจุดต่อจุดจะมีอยู่ 3 ขั้นตอนคือ

1) สร้างสภาวะมาตรฐาน

2) หาได้จากวิธีการคาดคะเนแบบพื้นที่ต่อพื้นที่

3) หาได้จากวิธีการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด โดยใช้พื้นฐานของวิธีการแบบพื้นที่ต่อพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.1 สภาวะมาตรฐาน

เนื่องจากสภาวะในเขตพื้นที่ต่างๆ จะมีลักษณะแตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดสภาวะมาตรฐาน เช่น กำลังส่ง ความสูงสายอากาศ เกนของสายอากาศ เป็นต้น เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับสภาวะต่างๆ และกำหนดค่าแฟคเตอร์ในการแก้ไขความผิดพลาด (Correction factor)

2.5.1.2 การหาเคริฟของการคาดคะเนแบบพื้นที่ต่อพื้นที่จากสิ่งก่อสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น

ในเขตพื้นที่ต่างๆ กันจะมีเคริฟของการคาดคะเนแบบพื้นที่ต่อพื้นที่แตกต่างกัน ในการคาดคะเนแบบพื้นที่ต่อพื้นที่ พื้นที่ทั้งหมดจะถูกพิจารณาให้เป็นพื้นที่ราบ แม้ว่าข้อมูลอาจจะได้มาจากพื้นที่ที่ไม่ใช่ที่ราบ เหตุผลก็คือการคาดคะเนแบบพื้นที่ต่อพื้นที่นี้ จะหาได้จากการเฉลี่ยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อแสดงถึงความขรุขระของภูมิประเทศต่างๆ

เพราะฉะนั้นค่าความแตกต่างของเคริฟของการคาดคะเนแบบพื้นที่ต่อพื้นที่ จะมีความแตกต่างตามสิ่งก่อสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น ค่าที่วัดและจัดทำในเมืองจะแตกต่างกับค่าที่วัดและจัดทำในเขตชานเมืองและบริเวณพื้นที่เปิด เคริฟการคาดคะเนของพื้นที่ต่อพื้นที่ได้จากค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่วัดได้ และใช้เพื่อการคาดการณ์พื้นที่นั้นในอนาคต สำหรับการหาค่าการคาดคะเนแบบพื้นที่ต่อพื้นที่ใดๆ สามารถใช้เป็นขั้นแรกของวิธีการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด

การคาดคะเนแบบพื้นที่ต่อพื้นที่แต่ละครั้งสามารถแสดงได้โดยพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ

(1) จุดตัดขวางที่ 1 ไมล์ (หรือ 1 กิโลเมตร)

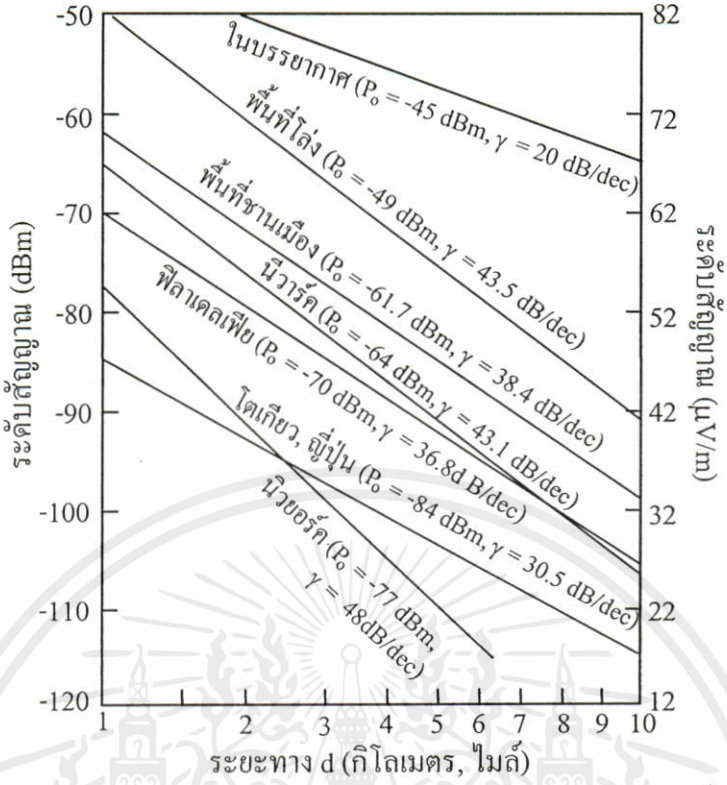
(2) ความชันของการลดทอนของสัญญาณหมายถึงที่จุดตัดขวางจะมีสัญญาณที่รับได้จากเครื่องส่งเท่าไร

ในการหาพารามิเตอร์ทั้ง 2 ตัวนี้ โดยทั่วไปจะมีอยู่ 2 วิธีด้วยกันคือ

1. เปรียบเทียบพื้นที่ที่ต้องการหาพารามิเตอร์กับพื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างโดยมนุษย์ ว่าคล้ายกับ เคริฟใดในรูปที่ 2.21

2. ถ้าสิ่งปลูกสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้นของเมืองที่ทำการพิจารณา มีลักษณะแตกต่างจากเมืองที่แสดงในรูปที่ 2.21 การทำการวัดแบบง่ายๆ ก็สามารถทำได้ โดยการตั้งสายอากาศด้านส่งที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ ขณะที่ความสูงของอาคารสามารถเปรียบเทียบได้กับอาคารอื่นๆ ในพื้นที่ ตำแหน่งของสายอากาศก็ไม่ค่อยจะวิกฤตนัก นำเอาข้อมูลที่วัดได้จากจุดตัดขวาง จำนวน 6 หรือ 7 ข้อมูลมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยโดยการเชื่อมโยงข้อมูลเข้าด้วยกันจะได้ค่าความชันการลดทอนสัญญาณออกมา ถ้าเป็นพื้นที่ที่เต็มไปด้วยอาคาร หรือต้นไม้ ข้อมูลที่ได้ออกมาในแต่ละจุดที่ตำแหน่งต่างๆ กัน อาจมีค่าแตกต่างกันมาก ในกรณีนี้อาจจะต้องกำหนดจุดที่วัดหาข้อมูลให้มากจุดขึ้น เพื่อจะได้หาค่าเฉลี่ยของความชันของการลดทอนสัญญาณได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 เปรียบเทียบค่าของการลดทอนเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในพื้นที่ต่างๆ

2.5.2 สูตรทั่วไปในการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด

สูตรทั่วไปในการคาดคะเน สามารถสร้างรูปแบบได้ดังต่อไปนี้

$$P_r = \begin{cases} \text{เส้นทางที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง} = P_{r_o} - \gamma \log \frac{r}{r_o} + 20 \log \frac{h'_e}{h_1} + \alpha \\ \text{เส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง} = P_{r_o} - \gamma \log \frac{r}{r_o} + L + \alpha \\ \text{สูตรของการติดต่อจากเซลสเตชั่นไปยังเครื่อง PS ข้ามพื้นน้ำ} = \text{สูตรของบรรยากาศ} \end{cases} \quad (2.16)$$

ข้อสังเกต

1. P_r ไม่มีทางที่จะสูงกว่าที่ได้จากในบรรยากาศ

2. การหันเหของถนนจะมีอิทธิพลต่อระดับสัญญาณที่เครื่อง PS ได้รับ และในขณะที่มีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกับการแพร่กระจายของคลื่นจะมีค่าระดับสัญญาณสูงกว่าการเคลื่อนที่ในทิศทางตั้งฉากกับแนวทางการแพร่กระจายคลื่น

3. ค่าแฟคเตอร์เพื่อแก้ไขให้ค่าถูกต้องคือ แฟคเตอร์ α (อัตราขยายหรืออัตราการลดทอน) จะมีค่าแตกต่างกันแล้วแต่สภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้จะถูกนำเข้ามารวมด้วยแล้ว แต่ในการติดตั้งเซลสเตชั่นก็จะต้องพยายามหลีกเลี่ยงการติดตั้งเซลสเตชั่นใกล้เขตที่มีต้นไม้หนาแน่น เพื่อให้แน่ใจว่าตำแหน่งที่ทำการติดตั้งเซลสเตชั่นมีค่าการลดทอนเนื่องจากใบไม้น้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

การออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น จะต้องทำด้วยความละเอียดรอบคอบ เนื่องจากเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้น มีขนาดเล็กในระดับของไมโครเซลที่มีรัศมีของการให้บริการเพียง 300 - 400 เมตร เท่านั้น ดังนั้นในการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจึงต้องมีการติดตั้งเซลสเตชั่นในตำแหน่งที่เหมาะสม เพราะถ้าหากทำการติดตั้งเซลสเตชั่นห่างกันเกินไปก็จะเกิดพื้นที่ที่เป็นจุดบอดของสัญญาณ ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในการติดต่อสื่อสาร เนื่องจากการขาดหายของสัญญาณในบริเวณนั้น หรือถ้าหากทำการติดตั้งเซลสเตชั่นชิดกันเกินไปก็จะต้องใช้เซลสเตชั่นจำนวนมากทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงเกินความจำเป็น และยังอาจจะทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณระหว่างเซลข้างเคียงขึ้นได้

สำหรับรูปแบบการวางเซลที่ใช้อยู่เดิมในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้นจะเป็นรูปแบบการวางเซลที่ได้ทำการจำลองมาจากรูปแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS ในประเทศญี่ปุ่น[18][19] ที่นอกจากจะมีสภาพแวดล้อมต่างๆ เช่น ความหนาแน่นของสิ่งก่อสร้างต่างๆ สภาพภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศ ที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นที่แตกต่างจากประเทศไทยแล้ว ลักษณะการใช้งานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS ในประเทศญี่ปุ่น ก็ยังมีความแตกต่างจากลักษณะการใช้งานของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในประเทศไทยอีกด้วย ดังนั้นในการออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในประเทศไทยให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งาน[20] จึงต้องมีการคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นที่เหมาะสม เพื่อให้ได้รูปแบบการวางเซลที่ครอบคลุมในทุกพื้นที่ของการให้บริการ และด้วยการใช้เทคนิคการวางเซลให้ได้ 2 แคเรียร์ต่อพื้นที่ ก็จะทำให้มีความต่อเนื่องในการติดต่อสื่อสาร และเมื่อนำผลที่ได้จากการคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นมาพิจารณาร่วมกับการใช้เทคนิคการวางเซลให้ได้ 2 แคเรียร์ต่อพื้นที่ ก็จะทำให้ได้รูปแบบการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีที่มีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ขั้นตอนการออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

ในการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที เพื่อให้บริการในพื้นที่สาธารณะนั้น จะต้องทำการติดตั้งเซลสเตชั่นไปตามถนนทั่วทั้งกรุงเทพฯ และปริมณฑล โดยในการออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้น จะต้องทำการวางเซลให้มีระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เกิดพื้นที่ที่เป็นจุดบอดและการรบกวนของสัญญาณจากเซลข้างเคียง และเพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีที่สุดในการให้บริการ

สำหรับการหาค่าระยะทางระหว่างเซลสเตชั่นที่เหมาะสมนั้น จะใช้วิธีการคำนวณจากสมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการลดทอนของสัญญาณในประเทศไทย โดยสมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้นนี้ เป็นสมการที่ได้ทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์บางตัวจากสมการการลดทอนของสัญญาณที่มีอยู่เดิมให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นและลักษณะการใช้งานของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในประเทศไทย สำหรับขั้นตอนการปรับปรุงสมการการลดทอนของสัญญาณจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 การปรับปรุงสมการการลดทอนของสัญญาณให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งานในประเทศไทย

การวางเซลสำหรับให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะนั้นจะทำการติดตั้งเซลสเตชั่นไว้บริเวณริมถนนทั่วทั้งกรุงเทพฯ และปริมณฑล จึงถือได้ว่าเป็นสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางอยู่ไม่มากนัก[21][22][23]

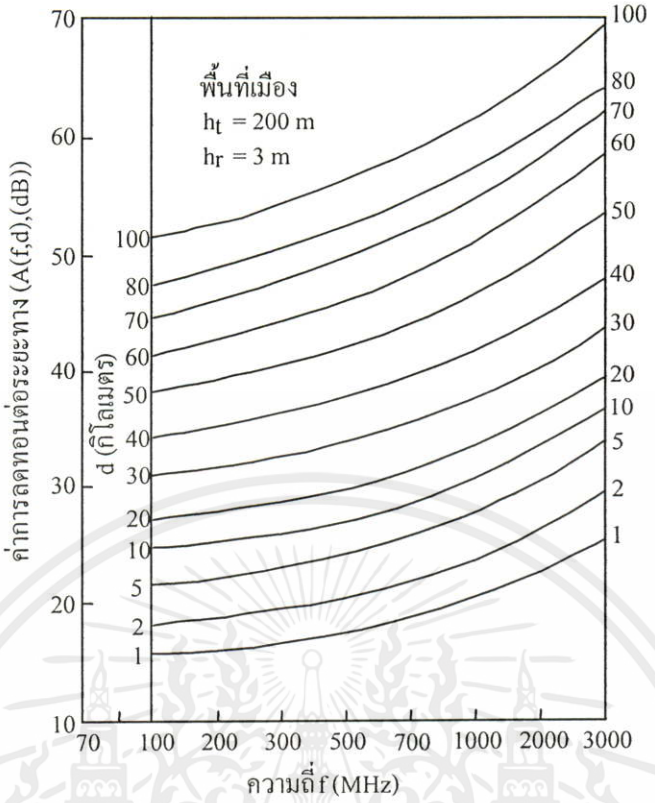
ดังนั้นในการปรับปรุงสมการการลดทอนของสัญญาณให้มีความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งานโทรศัพท์ในประเทศไทย เพื่อให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะ จึงได้นำสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space ดังแสดงในสมการที่ 3.1 ซึ่งพิจารณาในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง กับเคิร์ฟของ Okumura และสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata ดังแสดงในรูปที่ 3.1 รูปที่ 3.2 และสมการที่ 3.2 ซึ่งเป็นเคิร์ฟและสมการที่ใช้ทดลองในประเทศญี่ปุ่น โดยนำค่าความสูงของสายอากาศมาทำการพิจารณาด้วย มาใช้เป็นสมการพื้นฐานในการปรับปรุงสมการการลดทอนของสัญญาณให้มีความเหมาะสมกับประเทศไทย

$$L_{pf}(dB) = 32.44 + 20\log_{10}f_c + 20\log_{10}d \qquad (3.1)$$

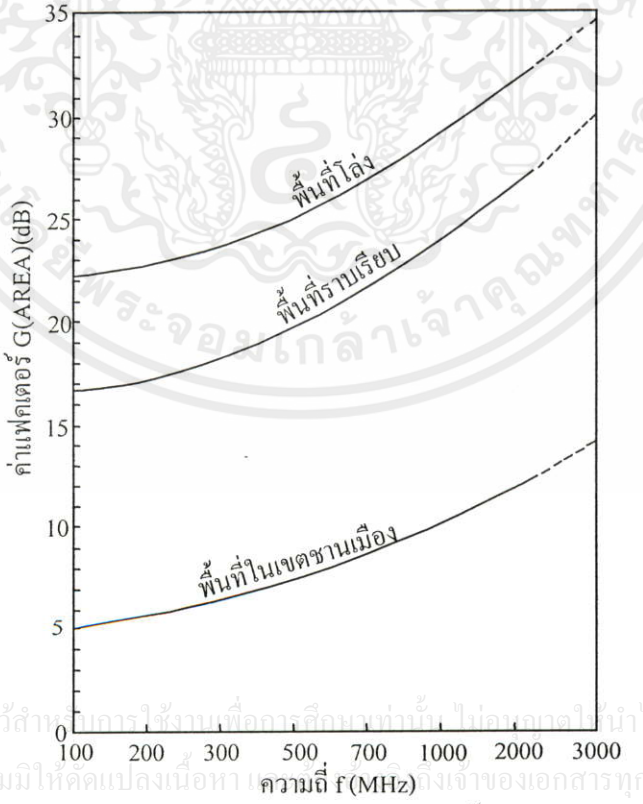
$$L_p(dB) = 69.55 + 26.16\log_{10}f_c + (44.9 - 6.55\log_{10}h_b)\log_{10}d - 13.82\log_{10}h_b - a(h_m) \qquad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $a(h_m)$ เป็นพารามิเตอร์สำหรับแก้ไขสายอากาศของโทรศัพท์เคลื่อนที่เทียบกับสภาพพื้นฐานที่เป็นเขตพื้นที่ตัวเมือง



รูปที่ 3.1 ค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการลดทอนสัญญาณ A(f,d)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 ค่าแฟคเตอร์ $G_{(AREA)}$ ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของพารามิเตอร์ A(f,d)

ในเขตเมืองขนาดเล็ก-กลาง

$$a(h_m) = [1.1\log_{10}f_c - 0.7]h_m - [1.56\log_{10}f_c - 0.8] \quad (3.3)$$

ในเมืองขนาดใหญ่

$$a(h_m) = 8.29[\log_{10}1.5h_m]^2 - 1.1 \quad ; \quad f_c \leq 200 \text{ MHz} \quad (3.4)$$

$$a(h_m) = 3.2[\log_{10}11.75h_m]^2 - 4.97 \quad ; \quad f_c \leq 400 \text{ MHz} \quad (3.5)$$

โดยที่ L_{pf} เป็นการสูญเสียของสัญญาณใน free space

L_p เป็นการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่ชานเมืองจากสมการของ Hata

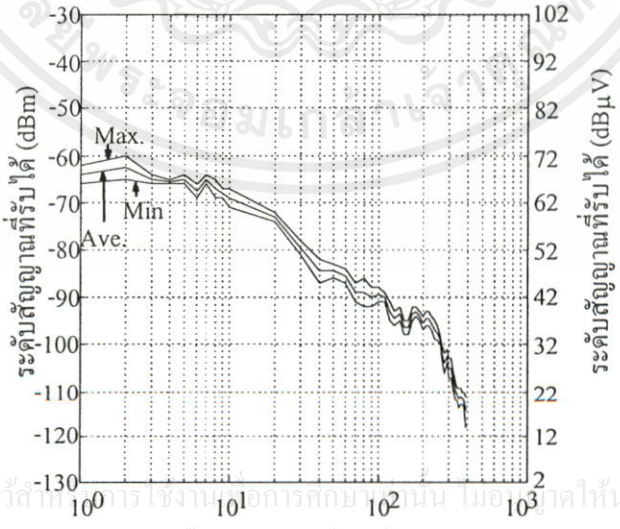
f_c เป็นความถี่แคเรียร์

h_b เป็นความสูงของเซลสเตชั่น

h_m เป็นความสูงของเครื่องโทรศัพท์

d เป็นระยะทางที่ห่างจากเซลสเตชั่นมีหน่วยเป็นกิโลเมตร

สำหรับขั้นตอนในการปรับปรุงสมการการลดทอนของสัญญาณนั้น ขั้นแรกจะต้องทำการศึกษาถึงลักษณะของการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงในประเทศไทย[24] โดยทำการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณในเขตพื้นที่ย่านชานเมือง บริเวณถนนอ่อนนุช ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการลดทอนของสัญญาณในเขตพื้นที่ย่านชานเมือง บริเวณถนนอ่อนนุช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากได้ทำการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงในประเทศไทยแล้ว ขั้นตอนต่อไป เป็นการนำค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้มาใช้ในการปรับปรุงสมการการลดทอนของสัญญาณ โดยทำการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์บางตัวให้มีความเหมาะสมกับสภาพการลดทอนของสัญญาณในประเทศไทย ซึ่งใช้สมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space สมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata และเคิร์ฟของ Okumura เป็นสมการพื้นฐานในการปรับปรุง

ในสมการที่ 3.1 ซึ่งเป็นสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space จะประกอบด้วย 3 เทอมคือ เทอมแรกเป็นค่าเริ่มต้นการสูญเสียของสัญญาณใน Free space เท่ากับ 32.44 dB เทอมที่สองเป็นค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากความถี่ และเทอมที่สามเป็นค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากระยะทาง

สำหรับสมการที่ 3.2 เป็นสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata จะมีองค์ประกอบคล้ายกับสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space แต่มีการนำค่าความสูงของสายอากาศมาพิจารณาด้วย ดังนั้นในสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata เทอมแรกจะเป็นค่าเริ่มต้นการสูญเสียของสัญญาณสำหรับพื้นที่ในเขตตัวเมือง มีค่าเท่ากับ 69.55 dB เทอมที่สองเป็นค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากความถี่ในช่วง 150-1500 MHz เทอมที่สามเป็นค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากระยะทางในช่วง 1-20 กิโลเมตร และเทอมที่สี่จะเป็นพารามิเตอร์สำหรับแก้ไขของสายอากาศเทียบกับสภาพพื้นฐานที่เป็นเขตพื้นที่ตัวเมือง ซึ่งในสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata จะพิจารณาที่ความสูงของสายอากาศที่เซลสเตชั่นในช่วง 30 – 200 เมตร และความสูงของสายอากาศที่เครื่องโทรศัพท์ เท่ากับ 1.5 เมตร

จากสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space และสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata จะพบว่าองค์ประกอบพื้นฐานของสมการการลดทอนของสัญญาณเพื่อนำค่าความสูงของสายอากาศมาทำการพิจารณาด้วยจะประกอบไปด้วย 4 เทอมด้วยกัน คือ

1. ค่าเริ่มต้นการสูญเสียของสัญญาณ
2. ค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากความถี่
3. ค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากระยะทาง
4. ค่าพารามิเตอร์สำหรับแก้ไขของสายอากาศ

และเมื่อทราบถึงองค์ประกอบพื้นฐานของสมการการลดทอนของสัญญาณแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการปรับปรุงองค์ประกอบพื้นฐานในแต่ละเทอมของสมการการลดทอนของสัญญาณ เพื่อให้ได้เป็นสมการการลดทอนของสัญญาณที่มีความเหมาะสมกับลักษณะการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นจริงในประเทศไทย ซึ่งจะนำไปใช้ในการออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในเทอมแรกซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นของการสูญเสียของสัญญาณ จะใช้ค่าเริ่มต้นของการสูญเสียของสัญญาณที่ 38.4 dB(ประมาณ 93.6 dBμV) ซึ่งเป็นค่าระดับสัญญาณที่ส่งออกจากเซลสเตชั่นเมื่อระยะทางเป็น 1 เมตร

เทอมที่สองเป็นค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากความถี่ ซึ่งในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะทำการติดตั้งเซลเตชั่นไว้บริเวณริมถนนทั่วไป จึงอาจถือได้ว่ามีสิ่งกีดขวางไม่มากนัก ดังนั้นในเทอมนี้จึงเลือกใช้ค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากความถี่จากสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space ซึ่งมีค่าเท่ากับ $20\log_{10}f_c$

เทอมที่สามเป็นค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากระยะทาง จะใช้ค่าแกรมม่าสโลปเท่ากับ 30.5 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้สำหรับบริเวณชานเมืองในประเทศไทย

และเทอมที่สี่เป็นค่าพารามิเตอร์สำหรับแก้ไขของสายอากาศ ซึ่งสำหรับพื้นที่ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลแล้ว จะใช้ค่าพารามิเตอร์สำหรับแก้ไขของสายอากาศในเขตเมืองขนาดเล็ก-กลาง จากสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata

เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เรียบร้อยแล้ว จะทำให้ได้สมการการลดทอนของสัญญาณเป็นดังสมการที่ 3.6

$$L(dB) = 38.4 + 20\log_{10}f_c + (30.5 - 6.55\log_{10}h_b)\log_{10}d - 13.82\log_{10}h_b - a(h_m) \qquad (3.6)$$

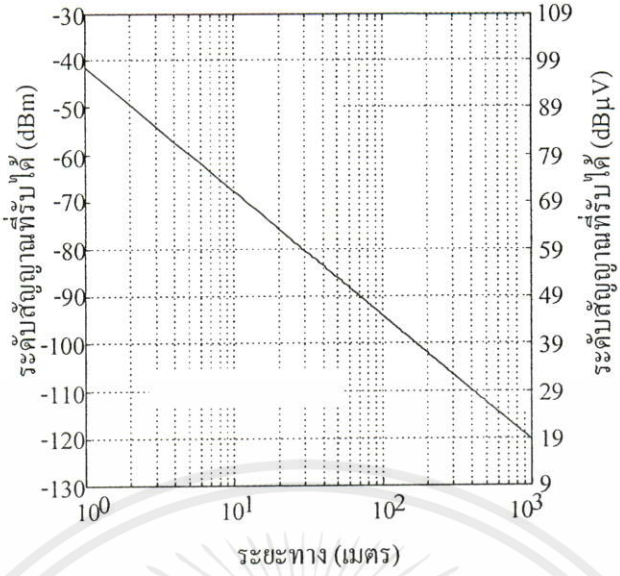
เมื่อ $a(h_m) = [1.1\log_{10}f_c - 0.7]h_m - [1.56\log_{10}f_c - 0.8]$

จากสมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น จะได้เคิร์ฟการลดทอนของสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการวัดจากพื้นที่จริงในประเทศไทย และเปรียบเทียบกับสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space และสมการการลดทอนของสัญญาณของ Hata แล้ว ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.5

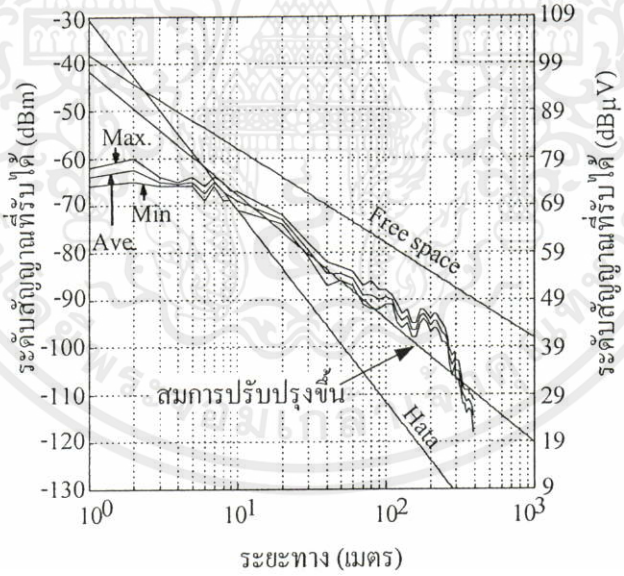
จากรูปที่ 3.5 จะพบว่า สมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ในพื้นที่จริง ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ในการออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในประเทศไทย

และเมื่อกำหนดให้มีการเฟดดิ้งของสัญญาณไม่เกิน 10 dB ตามข้อกำหนดของ Rayleigh fading และแทนค่าการลดทอนของสัญญาณเท่ากับ 30 dBμV ซึ่งเป็นระดับสัญญาณที่เครื่อง PCT สามารถทำการข้ามเซลได้ (Handover)และแทนค่าความถี่ (f_c) = 1910 MHz ความสูงของเซลสเตชั่น (h_b) = 4.5 เมตร ความสูงของเครื่อง PS (h_m) = 1.5 เมตร เมื่อแทนค่าในสมการที่ 3.6 จะได้ระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นเท่ากับ 300 เมตร สำหรับเซลสเตชั่น ขนาด 200 mW และเซลสเตชั่นขนาด 20 mW จะได้ระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นเท่ากับ 150 เมตร สำหรับลักษณะการติดตั้งเซลเตชั่นทั้งขนาด 20 mW และ 200 mW จะแสดงดังรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้

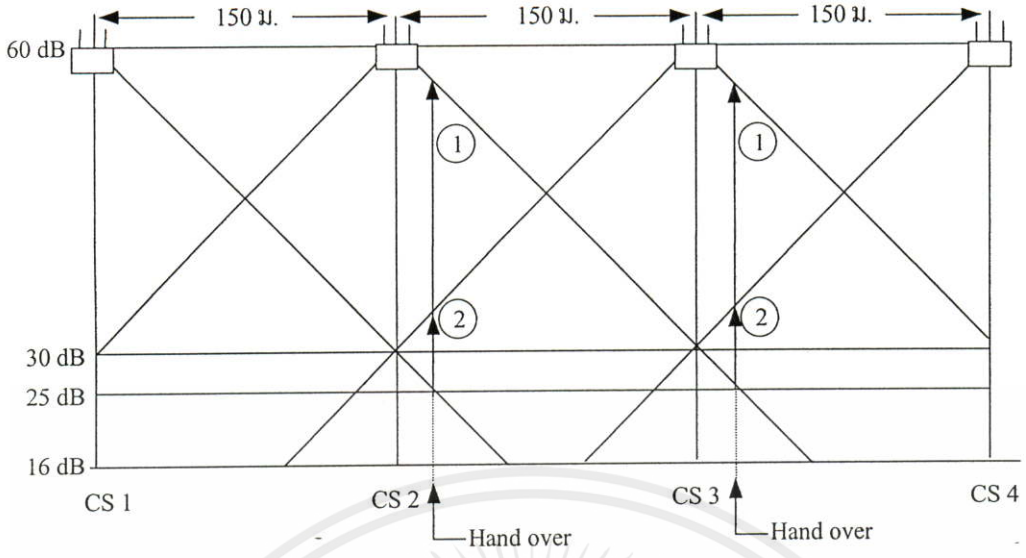


รูปที่ 3.4 แสดงเคิร์ฟของการลดทอนของสัญญาณจากสมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น

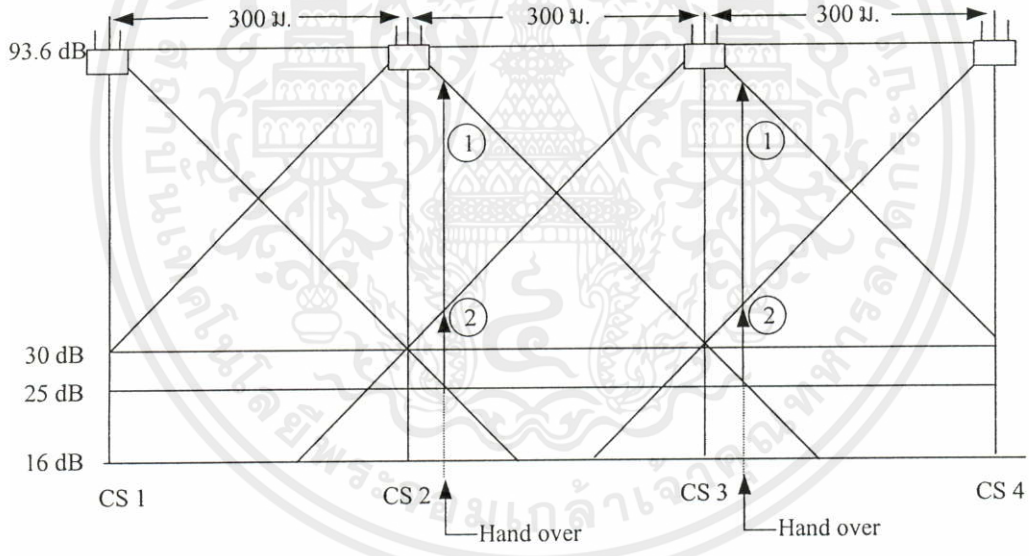


รูปที่ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบเคิร์ฟของการลดทอนของสัญญาณระหว่างสมการการลดทอนของสัญญาณใน Free space, สมการของ Hata, สมการที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น กับค่าที่วัดได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 20 mW



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 200 mW

3.1.2 การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ

ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้น เซลสเตชั่นเป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทอย่างสูงในการบ่งบอกถึงระดับคุณภาพของการบริการ เนื่องจากเซลสเตชั่นนั้น เป็นเหมือนประตูที่เครื่องลูกข่ายของผู้ใช้บริการจะใช้ในการเข้าสู่ระบบ หากเซลสเตชั่นเกิดความเสียหายหรือมีการทำงานที่ผิดปกติ นั่นก็หมายถึงในพื้นที่ให้บริการของเซลสเตชั่นนั้นจะไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นในการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนอกจากจะต้องมีระบบการบริหารและจัดการโครงข่ายสำหรับใช้ดูแลและบำรุงรักษาให้เซลสเตชั่นมีความสมบรูณ์ในการใช้งานมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลง เผยแพร่ หรือจำหน่ายต่อ

ที่สุดแล้ว เซลสเตชั่นและเครื่องลูกข่ายที่ใช้ในการให้บริการก็จะต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้ถูกต้องด้วย จึงได้คุณภาพที่ดีที่สุดในการให้บริการ

โดยเซลสเตชั่นที่ใช้สำหรับให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะในประเทศไทยนั้น จะมีอยู่ 2 ขนาดด้วยกันคือ ขนาด 200 mW และ 20 mW ซึ่งสำหรับเซลสเตชั่นในแต่ละขนาดนั้นจะมีคุณสมบัติของพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และในส่วนของคุณสมบัติต่างๆ เครื่องลูกข่ายจะแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของเซลสเตชั่นที่ใช้สำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

พารามิเตอร์	คุณสมบัติ	
	20 mW	200 mW
กำลังในการส่งสัญญาณ	ประมาณ 20 mW (+ 20 – 50%)	ประมาณ 200 mW (+ 20 – 50%)
Adjacent channel power	800 nW หรือน้อยกว่า (600 kHz detuned) 250 nW หรือน้อยกว่า (900 kHz detuned)	
Carrier off – time leakage power	80 nW หรือต่ำกว่า	
Spurious emission	Inband : 250 nW หรือต่ำกว่า Outband : 2.5 μW หรือต่ำกว่า	
Allowance for occupied bandwidth	288 kHz	
Frequency stability	$\pm 3 \times 10^{-6}$ kHz หรือต่ำกว่า	
Modulation accuracy	12.5 % หรือต่ำกว่า	
Transmission Rate accuracy	$\pm 5 \times 10^{-6}$ kHz หรือต่ำกว่า	
Cabinet radiation	2.5 μW หรือต่ำกว่า	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงคุณสมบัติของเครื่องลูกข่ายที่ใช้สำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

พารามิเตอร์	คุณสมบัติ
Sensitivity	12 dBμV หรือต่ำกว่า
Adjacent channel selectivity	50 dBμV หรือมากกว่า
Intermodulation performance	47 dBμV หรือมากกว่า
Spurious response immunity	47 dBμV หรือมากกว่า
Conducted spurious component	4 nW หรือต่ำกว่า
Cabinet radiation	nW หรือต่ำกว่า

3.1.3 การคำนวณขนาดพื้นที่ครอบคลุมเซลของเซลสเตชั่นขนาดต่างๆ

สำหรับขนาดของพื้นที่ครอบคลุมเซลของเซลสเตชั่นขนาดต่างๆ นั้น จะแตกต่างกันตามขนาดกำลังส่งของเซลสเตชั่น ซึ่งในการให้บริการในพื้นที่สาธารณะของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะมีการใช้เซลสเตชั่นอยู่ 2 ขนาดคือ ขนาด 200 mW และ 20 mW โดยที่เซลสเตชั่นขนาด 200 mW จะสามารถแพร่กระจายคลื่นได้ไกลประมาณ 300 เมตร มีพื้นที่ครอบคลุมเซลประมาณ 0.2826 ตารางกิโลเมตร และเซลสเตชั่นขนาด 20 mW จะสามารถแพร่กระจายคลื่นได้ไกลประมาณ 150 เมตร ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 0.0314 ตารางกิโลเมตร แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมต่างๆ ด้วย ถ้าในบริเวณนั้นมีอาคาร ต้นไม้ และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่มีผลทำให้สัญญาณเกิดการเฟดดิ้งก็จะทำให้ระยะการแพร่กระจายคลื่นน้อยลงด้วย

3.1.4 การเลือกขนาดของเซลสเตชั่นให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน

การวางเซลสำหรับให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะของประเทศไทย จะทำการติดตั้งเซลสเตชั่นบริเวณเสาไฟฟ้าที่อยู่ริมถนนทั่วทั้งกรุงเทพฯ และปริมณฑล สำหรับเซลสเตชั่นแต่ละขนาดนั้นจะมีการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยในการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะนั้น จะใช้งานเซลสเตชั่นขนาด 200 mW เป็นหลัก ทั้งนี้ก็เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้ได้มากที่สุด ส่วนเซลสเตชั่นขนาด 20 mW จะใช้ในพื้นที่ขนาดเล็ก ซึ่งหากใช้เซลสเตชั่นขนาด 200 mW ก็จะเป็นการสิ้นเปลือง และอาจจะทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณระหว่างเซลข้างเคียงขึ้นได้ นอกจากนี้ในพื้นที่ที่เป็นจุดอับของสัญญาณก็สามารถนำเซลสเตชั่น ขนาด 20 mW มาใช้เพื่อแก้ปัญหาพื้นที่ที่เป็นจุดอับของสัญญาณได้

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเนื่องจากในแต่ละพื้นที่ของการให้บริการจะมีลักษณะของพารามิเตอร์บางตัวที่แตกต่างกัน เช่น ปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ที่แตกต่างกัน ความเร็วในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ

เป็นต้น ดังนั้นในการวางเซลจึงต้องมีการเลือกขนาดของเซลสเตชั่นที่จะนำมาใช้งานในแต่ละพื้นที่ให้มีความเหมาะสม เพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีที่สุดในการให้บริการ

สำหรับพื้นที่ในการให้บริการของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้น สามารถแบ่งได้เป็น 3 พื้นที่ คือ

1. พื้นที่เขตชานเมือง เป็นเขตพื้นที่ที่มีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ไม่มากนัก และยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่สูงมากนัก
2. พื้นที่เขตถนนไฮเวย์ เป็นเขตพื้นที่ที่ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง
3. พื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง เป็นเขตพื้นที่ในเมืองหรือย่านธุรกิจที่มีปริมาณของการใช้งานโทรศัพท์สูง

สำหรับหลักในการเลือกใช้งานเซลสเตชั่นแต่ละขนาดในแต่ละพื้นที่นั้นจะต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของการให้บริการเป็นสำคัญ ซึ่งในการบริการโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะนั้น การให้บริการหลักจะเป็นพื้นที่ต่างๆ ที่อยู่ภายนอกอาคาร โดยมุ่งเน้นการให้บริการในพื้นที่ที่อยู่ริมถนนสายต่างๆ ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล ซึ่งจากลักษณะพื้นที่การให้บริการทั้ง 3 พื้นที่ คือ พื้นที่เขตชานเมือง พื้นที่เขตถนนไฮเวย์ และพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง การเลือกใช้งานเซลสเตชั่นแต่ละขนาดและลักษณะการติดตั้งให้เหมาะสมกับลักษณะพื้นที่ให้บริการจะมีลักษณะดังต่อไปนี้

3.1.4.1 การเลือกใช้งานเซลสเตชั่นแต่ละขนาดและลักษณะการติดตั้งให้เหมาะสมกับพื้นที่เขตชานเมือง

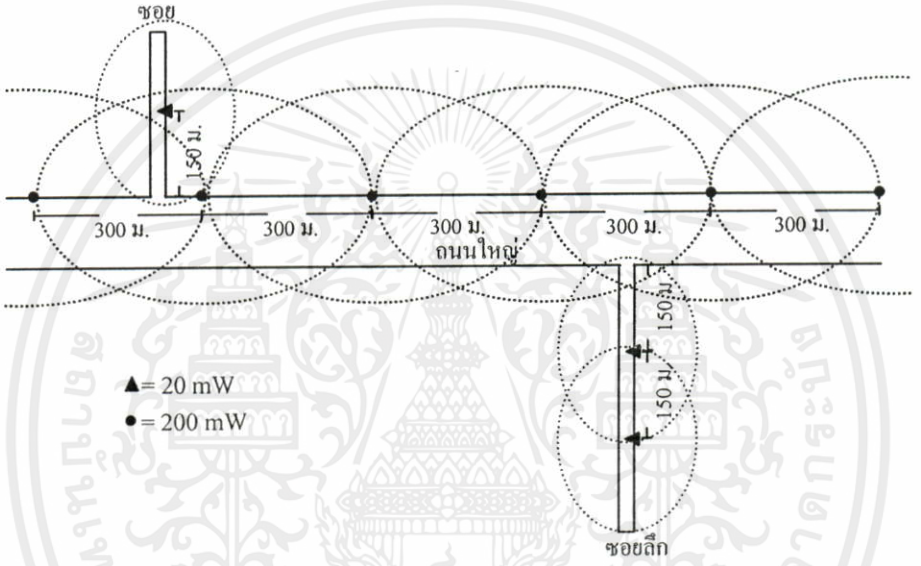
ในตารางที่ 3.3 แสดงลักษณะการใช้งานเซลสเตชั่นแต่ละขนาดสำหรับพื้นที่ให้บริการเขตชานเมือง ซึ่งมีการใช้งานเซลสเตชั่นทั้งขนาด 200 mW และ 20 mW โดยในการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 200 mW จะต้องติดตั้งเซลสเตชั่นให้ห่างกันประมาณ 300 เมตร ในบริเวณถนนสายหลักต่างๆ ที่มีขนาดตั้งแต่ 4 ช่องจราจร ขึ้นไป ทั้งนี้เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ของการให้บริการ และในการติดตั้งเซลสเตชั่นจะต้องทำการวางเซลสเตชั่นให้อยู่ฝั่งถนนเดียวกัน หรืออาจจะย้ายฝั่งเป็นช่วงๆ ได้ตามความเหมาะสม เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของพื้นที่ให้บริการ

สำหรับเซลสเตชั่นขนาด 20 mW นั้น จะนำมาใช้เฉพาะในกรณีที่พื้นที่ให้บริการเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก หรือเป็นถนนแคบๆ เช่น ถนนที่มีซอยย่อยๆ ซึ่งหากใช้เซลสเตชั่นขนาด 200 mW ในพื้นที่ดังกล่าว ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองโดยไม่จำเป็น และอาจจะทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณระหว่างเซลข้างเคียงขึ้นได้ โดยในการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 20 mW จะต้องติดตั้งเซลสเตชั่นห่างกันประมาณ 150 เมตร และสำหรับการติดตั้งเซลสเตชั่นในถนนที่มีซอยย่อยๆนั้น ไม่ควรจะติดตั้งเซลสเตชั่นในบริเวณปากซอย เพราะจะซ้อนทับกับเซลในถนนหลัก สำหรับลักษณะการใช้งานเซลสเตชั่นและลักษณะวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่เขตชานเมือง แสดงดังรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงการใช้งานและลักษณะการติดตั้งเซลสเตชั่นแต่ละขนาดสำหรับพื้นที่เขตชานเมือง

ลักษณะพื้นที่ให้บริการ	ขนาดเซลสเตชั่น	ลักษณะการติดตั้ง
เขตชานเมือง	200 mW	ใช้ติดตั้งบริเวณเสาไฟฟ้าที่อยู่ริมถนนสายหลัก โดยติดตั้งเซลสเตชั่นห่างกันประมาณ 300 เมตร
	20 mW	ใช้ติดตั้งบริเวณเสาไฟฟ้าที่อยู่ริมถนนที่เป็นตรอก ซอย โดยติดตั้งเซลสเตชั่นห่างกันประมาณ 150 เมตร



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการใช้งานเซลสเตชั่นและลักษณะวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่เขตชานเมือง

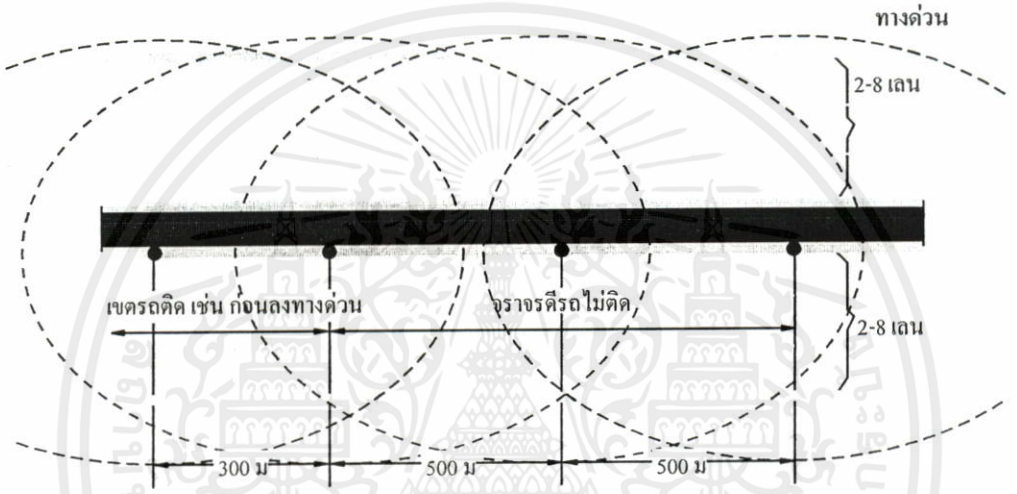
3.1.4.2 การเลือกใช้งานเซลสเตชั่นแต่ละขนาดและลักษณะการติดตั้งให้เหมาะสมกับพื้นที่เขตถนนไฮเวย์

ในการให้บริการโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์นั้นจะมีการใช้งานเซลสเตชั่นขนาด 200 mW เพียงขนาดเดียวเท่านั้น โดยจะทำการติดตั้งเซลสเตชั่นห่างกัน 300 เมตร ในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น เช่น บริเวณทางขึ้นหรือลงทางด่วน และจะติดตั้งเซลสเตชั่นห่างกัน 500 เมตร ในบริเวณที่มีการจราจรที่ไม่หนาแน่น และสำหรับการติดตั้งเซลสเตชั่นจะต้องทำการติดตั้งให้อยู่ในแนวเดียวกันหรืออยู่บนฝั่งถนนเดียวกัน หรืออาจจะย้ายฝั่งเป็นช่วงๆ ได้ตามความเหมาะสม สำหรับลักษณะการใช้งานเซลสเตชั่นและลักษณะวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์ แสดงดังรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงการใช้งานและลักษณะการติดตั้งเซลสเตชั่นแต่ละขนาดสำหรับพื้นที่เขตถนนไฮเวย์

ลักษณะพื้นที่ให้บริการ	ขนาดเซลสเตชั่น	ลักษณะการติดตั้ง
เขตถนนไฮเวย์	200 mW	ใช้ติดตั้งบริเวณริมถนนไฮเวย์ โดยติดตั้งเซลสเตชั่นห่างกันประมาณ 300-500 เมตร
	20 mW	-



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะการใช้งานเซลสเตชั่นและลักษณะวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์

3.1.4.3 การเลือกใช้งานเซลสเตชั่นแต่ละขนาดและลักษณะการติดตั้งให้เหมาะสมกับพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง หรือย่านธุรกิจ

ในการติดตั้งเซลสเตชั่นสำหรับให้บริการในพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่งนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงมากที่สุดอย่างหนึ่งก็คือ ปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ เนื่องจากในพื้นที่เขตนี้เป็นบริเวณที่นอกจากจะมีการจราจรที่คับคั่งแล้วยังเป็นเขตพื้นที่ที่มีปริมาณการใช้งานโทรศัพที่สูงกว่าในบริเวณอื่นๆ ด้วยเหตุนี้ในการวางเซลสำหรับให้บริการก็จะต้องทำการติดตั้งเซลสเตชั่นให้สามารถรองรับปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ที่หนาแน่นในพื้นที่เหล่านี้ได้ ซึ่งใน 1 เซลของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะสามารถรองรับการใช้งานได้ 3 คู่สนทนาพร้อมกัน ถ้าหากทำการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 200 mW ในพื้นที่บริเวณนี้ ก็จะไม่สามารถรองรับปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ในพื้นที่ในบริเวณนี้ได้ เพราะการใช้เซลสเตชั่นขนาด 200 mW จะทำได้แค่เพียงสามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการด้วยการใช้เซลสเตชั่นจำนวนน้อยๆ ทำให้จำนวนช่องสัญญาณสำหรับให้บริการใน

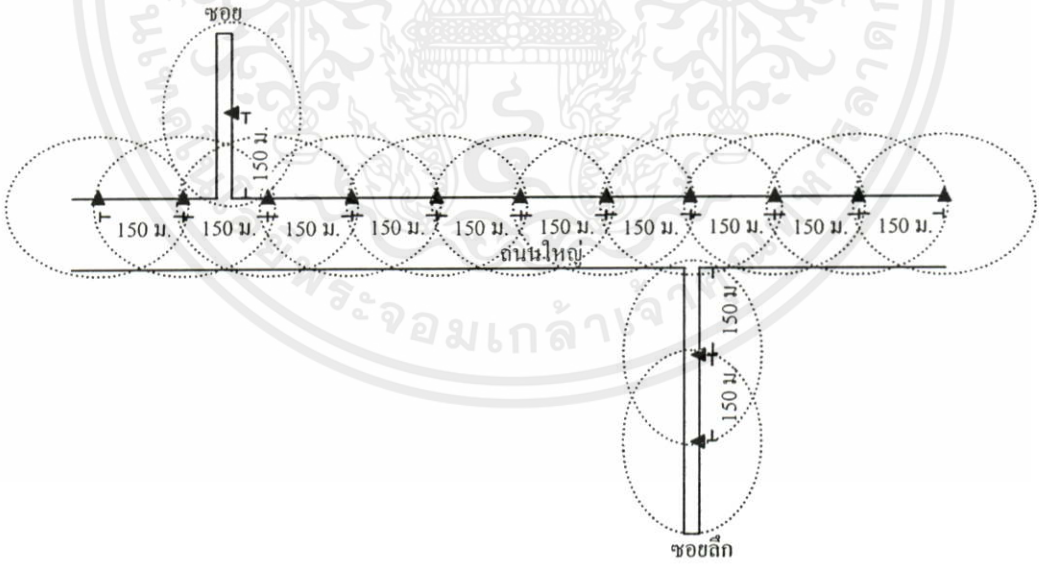
เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น เพื่อการศึกษาเท่านั้น

พื้นที่เหล่านี้ไม่เพียงพอกับความต้องการ ดังนั้นเพื่อให้สามารถรองรับปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ในปริมาณที่สูง จึงต้องทำการเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณสำหรับให้บริการในพื้นที่เหล่านี้ให้มากขึ้น

ดังนั้นการใช้งานเซลสเตชั่นสำหรับให้บริการในพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง ที่มีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์สูงๆ ควรจะเลือกใช้งานเซลสเตชั่นขนาด 20 mW เพื่อเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณในการให้บริการให้มากขึ้น และในส่วนของการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 20 mW จะทำการติดตั้งเซลสเตชั่นห่างกัน 150 เมตร สำหรับลักษณะการใช้งานเซลสเตชั่นและลักษณะวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่งแสดงดังรูปที่ 3.10

ตารางที่ 3.5 แสดงการใช้งานและลักษณะการติดตั้งเซลสเตชั่นแต่ละขนาดสำหรับพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง

ลักษณะพื้นที่ให้บริการ	ขนาดเซลสเตชั่น	ลักษณะการติดตั้ง
เขตที่มีการจราจรคับคั่ง	200 mW	-
	20 mW	ใช้ติดตั้งบริเวณเสาไฟฟ้าที่อยู่ริมถนน โดยติดตั้งเซลสเตชั่นห่างกันประมาณ 150 เมตร



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการใช้งานเซลสเตชั่นและลักษณะวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 การพิจารณาผลกระทบจากสภาพแวดล้อมต่อการใช้งานโทรศัพท์

ปัญหาการลดทอนของสัญญาณในเขตพื้นที่ในเมือง หรือชานเมืองนั้น ส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาในเรื่องของพื้นที่ที่เป็นจุดบอดหรือจุดอับของสัญญาณและการสะท้อน ซึ่งเกิดขึ้นจากอาคารบ้านเรือนและต้นไม้ และเมื่อพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมของระบบโทรศัพท์ไร้สาย สัญญาณที่มาถึงเครื่องโทรศัพท์ในแต่ละทิศทางจะมีขนาดของแอมปลิจูดและเฟสของสัญญาณที่ต่างกัน นอกจากนี้ในแต่ละทิศทางของสัญญาณที่มาถึงเครื่องโทรศัพท์ยังมีการดีเลย์ของสัญญาณที่แตกต่างกัน การที่จะกำหนดรูปแบบที่แน่นอนของสัญญาณที่รับได้นั้นจึงไม่สามารถทำได้ สำหรับการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะนั้น สภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการใช้งานโทรศัพท์จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ประการใหญ่ๆ คือ การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ และการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้ต่างๆ โดยลักษณะการลดทอนของสัญญาณในแต่ละรูปแบบจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.5.1 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ

การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากสภาพแวดล้อมสำหรับพื้นที่ในเมือง ส่วนใหญ่จะเกิดจากการสะท้อนของสัญญาณกับอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ โดยอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากขนาด ความสูง ทิศทางของอาคาร หรือเส้นทางที่มีลักษณะพิเศษ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้เกิดพื้นที่ที่เป็นจุดบอด หรือจุดอับของสัญญาณ ที่มีค่าระดับสัญญาณที่รับได้ค่อนข้างเบาบางหรือมีการลดทอนของสัญญาณสูง ความแรงของสัญญาณที่มีการสะท้อนจะถูกกำหนดโดยความสูงและความกว้างของอาคารที่มีอยู่โดยรอบเครื่องโทรศัพท์และอาคารที่คลื่นไปตกกระทบหรืออาคารที่คลื่นสะท้อนเดินทางไปถึง นอกจากนี้ยังขึ้นกับลักษณะในการสะท้อนคลื่นของพื้นผิว เช่น ชนิดของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ขนาด รูปทรง และทิศทางของอาคาร

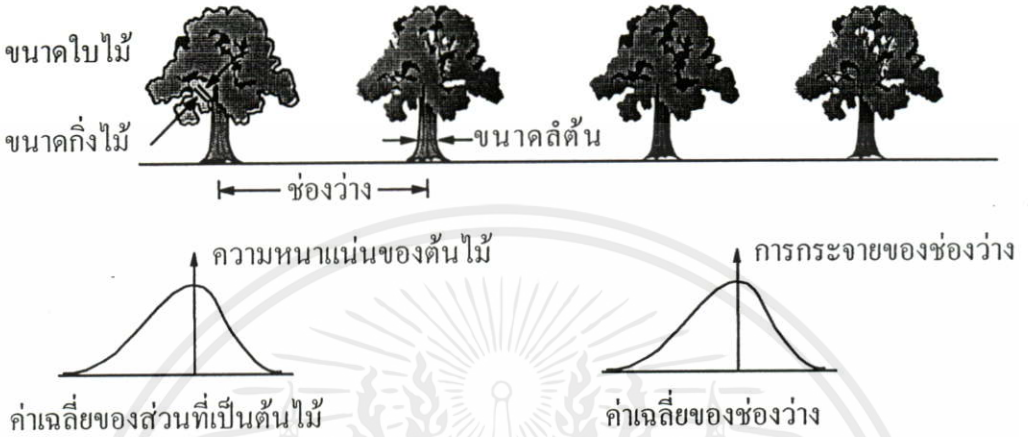
ในกรณีของพื้นที่ที่เป็นเนิน แฟคเตอร์ที่มีผลกระทบต่อแอมปลิจูดและบีมวิดธ์ของพื้นที่ที่มีการสะท้อนของสัญญาณจะประกอบไปด้วย ขนาด รูปทรง ทิศทางของอาคาร และค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อน ซึ่งในบางพื้นที่อาจจะมีผลกระทบจากใบไม้หรือต้นไม้ต่างๆ หรือการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย

3.1.5.2 การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้

การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้เป็นเรื่องที่ซับซ้อนมาก เนื่องจากมีพารามิเตอร์และการเปลี่ยนแปลงมากมาย เช่น ขนาด ความหนาแน่นและการกระจัดกระจายของใบไม้ กิ่งไม้ และลำต้น อีกทั้งความสูงของต้นไม้ที่สัมพันธ์กับความสูงของสายอากาศ ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งหมดนี้จะต้องถูกนำมาพิจารณา การแสดงถึงปัญหานี้จะแสดงดังรูปที่ 3.11 การลดทอนของสัญญาณนี้จะมีอยู่ 3 ระดับ คือ ลำต้น กิ่งและใบ โดยในแต่ละระดับจะนำเรื่องของขนาดของลำต้น กิ่ง ใบ ความหนา

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น การอ้างอิงควรอ้างอิงถึงแหล่งที่มาจากต้นฉบับเท่านั้น

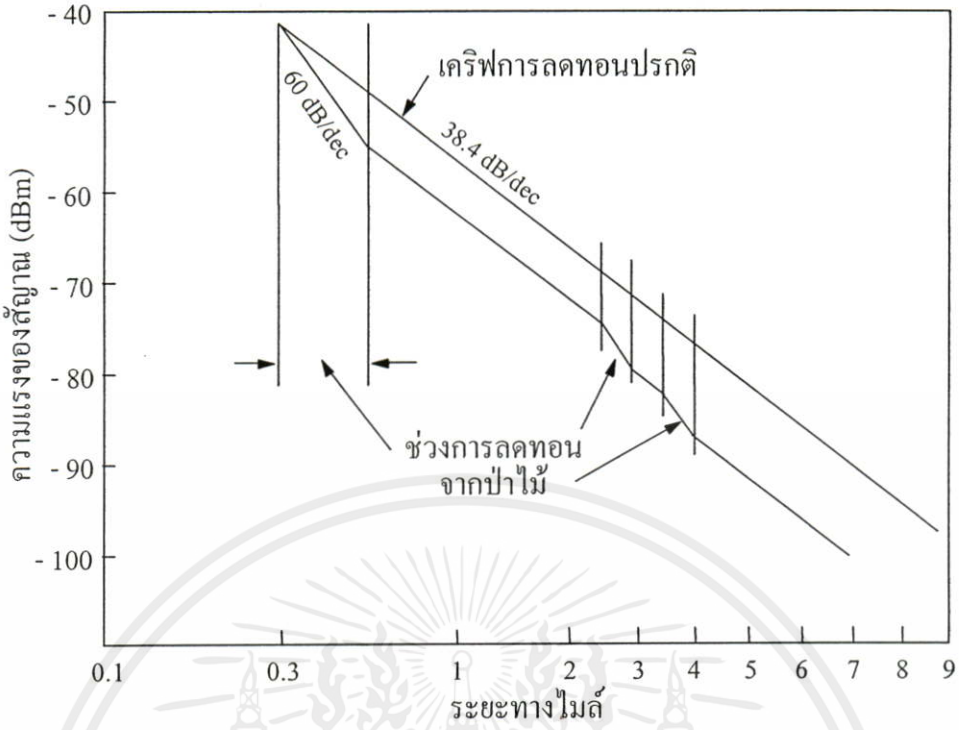
แน่น และช่องว่างระหว่างลำต้น กิ่งและใบ ระยะห่างระหว่างต้นไม้ที่อยู่ใกล้เคียงกัน ความหยาบละเอียดและความหนาของใบไม้มาพิจารณาด้วย ซึ่งเป็นเรื่องที่ซับซ้อนอย่างมาก แต่อย่างไรก็ตาม สำหรับการออกแบบการวางเซล การคาดคะเนระดับสัญญาณที่จะรับได้เนื่องจากการสูญเสียจากใบไม้นี้ ไม่จำเป็นที่จะต้องได้ค่าที่เที่ยงตรงและแน่นอนเสมอไป



รูปที่ 3.11 คุณลักษณะของสภาพแวดล้อมของต้นไม้

ในการคาดการณ์ถึงค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้ที่เปลี่ยนแปลงนี้ การคาดคะเนแบบคร่าวๆ ก็เพียงพอสำหรับที่จะใช้ในการออกแบบการวางเซล โดยในการคาดคะเนการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้นั้น เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อน ขนาดของใบไม้จะใหญ่และหนามาก ทำให้สัญญาณทะลุทะลวงผ่านไปได้ยากมาก และสัญญาณจะแพร่กระจายจากยอดไม้และหักเหสู่เครื่องรับ ซึ่งสำหรับการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้นี้ สามารถคิดแบบไวน์ไลน์ลอส (Wire line loss) มีหน่วยเป็นเดซิเบลต่อฟุต หรือเดซิเบลต่อเมตร สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ซึ่งมีรัศมีการแพร่กระจายคลื่นที่สั้นประมาณ 300 – 400 เมตร จึงสามารถพิจารณาได้ว่า ใบไม้หนาแน่นและมีรูปแบบที่แน่นอน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้จะเกิดขึ้นเทียบได้กับความถี่ยกกำลังสี่ (f^{-4}) ซึ่งจะเห็นได้ว่า การที่มีใบไม้อยู่ใกล้กับเครื่องส่งจะทำให้ค่าระดับสัญญาณที่รับได้มีค่าต่ำมาก ดังนั้นการติดตั้งเซลสเตชั่นควรจะอยู่ห่างจากบริเวณที่มีต้นไม้ และถ้าหากในบางพื้นที่ที่จะทำการติดตั้งเซลสเตชั่นอยู่ใกล้บริเวณที่มีต้นไม้หนาแน่น ก็จะต้องมีการคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากใบไม้และต้นไม้ในบริเวณนั้น เพื่อนำมาใช้ในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการติดตั้งเซลสเตชั่นให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่บริเวณนั้นๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การสูญเสียเนื่องจากใบไม้ในเขตชานเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดลองการออกแบบการวางเซลของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

ในการออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะนั้น จะมุ่งเน้นการให้บริการในบริเวณถนนสายหลักต่างๆ และเพื่อที่ให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้อย่างทั่วถึง การเลือกใช้งานเซลสเตชั่นสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะจึงเลือกใช้งานเซลสเตชั่นขนาด 200 mW เป็นหลัก สำหรับเซลสเตชั่นขนาด 20 mW จะใช้กรณีที่พื้นที่ให้บริการเป็นพื้นที่ขนาดเล็กหรือเป็นถนนแคบๆ เช่นถนนซอย ซึ่งในพื้นที่เหล่านี้หากเลือกใช้งานเซลสเตชั่นขนาด 200 mW ก็อาจจะทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณระหว่างเซลข้างเคียงขึ้นได้ หรือกรณีที่เป็นพื้นที่ที่มีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์หนาแน่นการใช้งานเซลสเตชั่นขนาด 200 mW ก็จะมีปริมาณช่องสัญญาณไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นการทดลองการออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะจึงได้ทำการทดลองออกแบบการวางเซล โดยพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมและปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ในแต่ละพื้นที่เป็นสำคัญ และในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้นำเสนอโปรแกรมในการคำนวณและแสดงผลของการออกแบบการวางเซลเพื่อให้เกิดความชัดเจนและง่ายต่อการวิเคราะห์ผลของการวางเซลที่ได้ทำการออกแบบขึ้นอีกด้วย

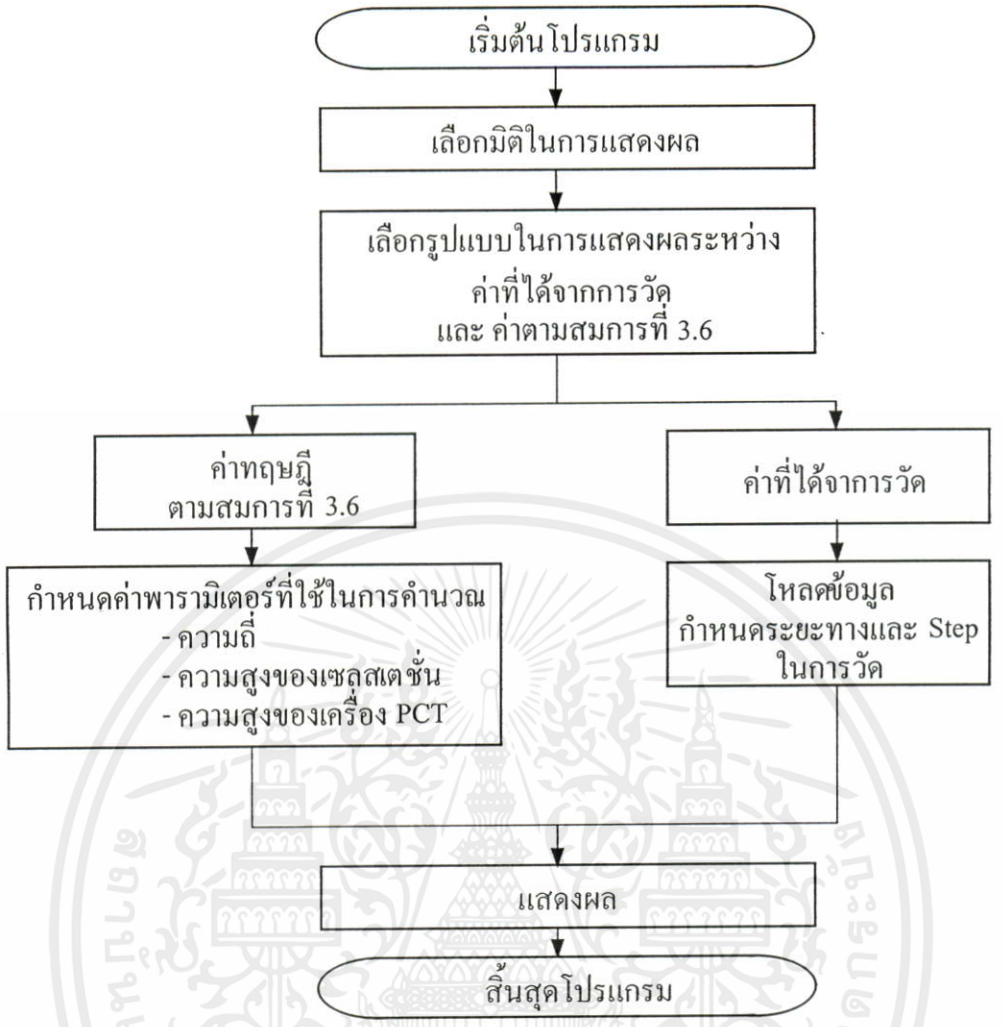
4.1 โปรแกรมการออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

4.1.1 โครงสร้างของโปรแกรมการออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

ในการออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะใช้โปรแกรม Matlab เวอร์ชั่น 5.11 ในการคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณจากสมการ3.6 โดยโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบการวางเซลจะแสดงถึงค่าระดับสัญญาณที่รับได้และแสดงพื้นที่ครอบคลุมเซล ซึ่งจะช่วยให้เกิดความชัดเจนในการวิเคราะห์ถึงผลของการออกแบบการวางเซล และเมื่อนำผลที่ได้จากโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบการวางเซลไปพิจารณาร่วมกับลักษณะสภาพแวดล้อมและปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ ก็จะทำให้รูปแบบการวางเซลที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมีคุณภาพในการให้บริการที่ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโครงสร้างของโปรแกรมในการออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะแสดงในบล็อคไดอะแกรมในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงบล็อคไดอะแกรมของโปรแกรมในการออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะ

4.1.2 ลักษณะการทำงานของโปรแกรม

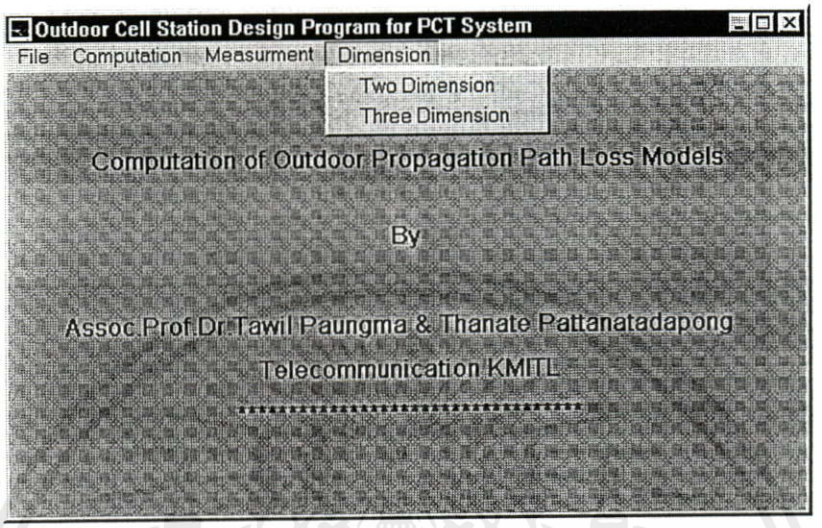
ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณและแสดงผลการออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะ จะแสดงผลของการออกแบบทั้งค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 3.6 และค่าที่ได้จากการวัดในพื้นที่จริง โดยแสดงผลในรูปของกราฟแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ซึ่งจะช่วยให้เห็นผลของการออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

ในการใช้งานโปรแกรมนั้นเมื่อเริ่มต้นใช้งานจะปรากฏเมนูบาร์สำหรับเลือกใช้งานโปรแกรม โดยในเมนูบาร์จะมีหัวข้อสำหรับเลือกใช้งานอยู่ 4 หัวข้อ คือ File, Computation, Measurement และ Dimension

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

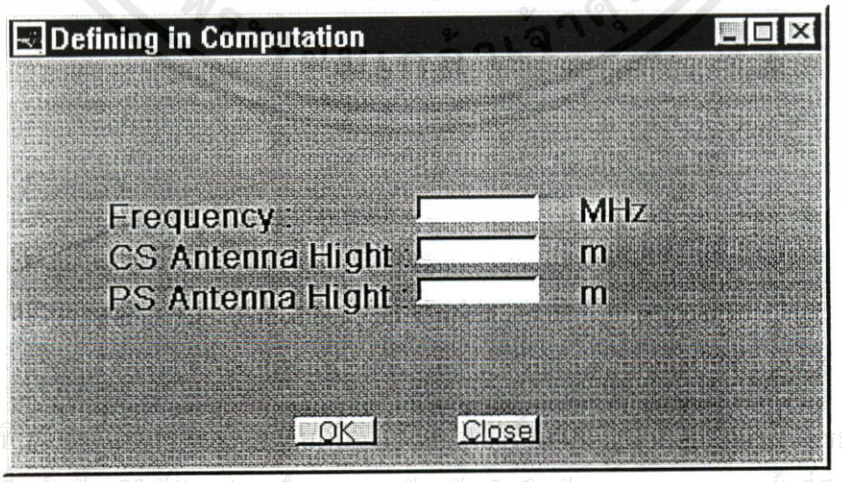
โดยก่อนที่จะทำการกำหนดว่าจะแสดงผลที่ได้จากการคำนวณหรือแสดงผลที่ได้จากการวัด จะต้องทำการกำหนดมิติในการพล็อต โดยเลือกหัวข้อ Dimension ซึ่งจะปรากฏตัวเลือก 2 ตัว

เลือกว่าต้องการจะแสดงผลแบบ 2 มิติ หรือ 3 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และหลังกำหนดมิติในการพล็อตเรียบร้อยแล้ว จะต้องกำหนดวัตถุประสงค์ในการใช้งานว่าต้องการที่จะแสดงผลที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่3.6 หรือจะเป็นการแสดงผลตามข้อมูลที่ได้ทำการวัดในพื้นที่จริง



รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่างที่ใช้กำหนดมิติในการแสดงผล

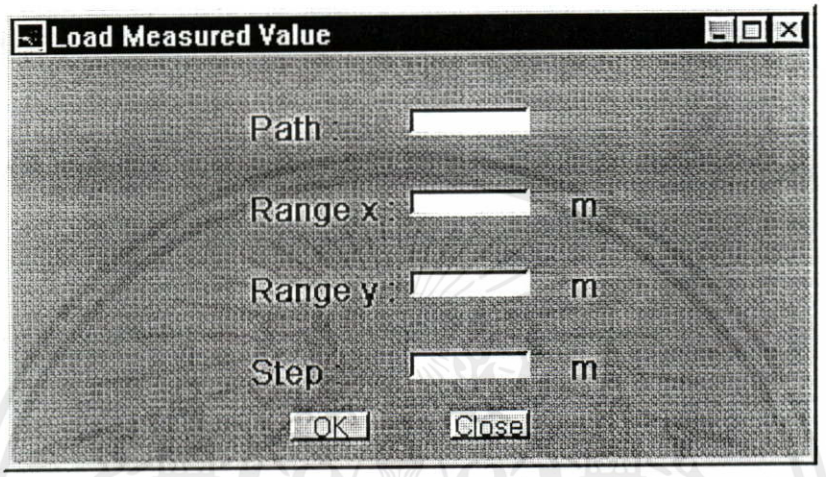
กรณีที่ต้องการที่จะแสดงผลที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 3.6 ก็จะทำการเลือกหัวข้อ Computation โดยจะปรากฏหน้าต่าง Defining in Computation ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งจะเป็นหน้าต่างที่ใช้เพื่อทำการกำหนดค่าความถี่ ความสูงของเซลสเตชั่น และความสูงของเครื่องพีซีที และเมื่อทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ให้กดปุ่ม OK ที่อยู่ด้านล่างของหน้าต่างนี้ จากนั้นโปรแกรมก็จะทำการพล็อตค่าที่ได้จากการคำนวณตามพารามิเตอร์ที่ได้กำหนดไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงหน้าต่างที่ใช้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

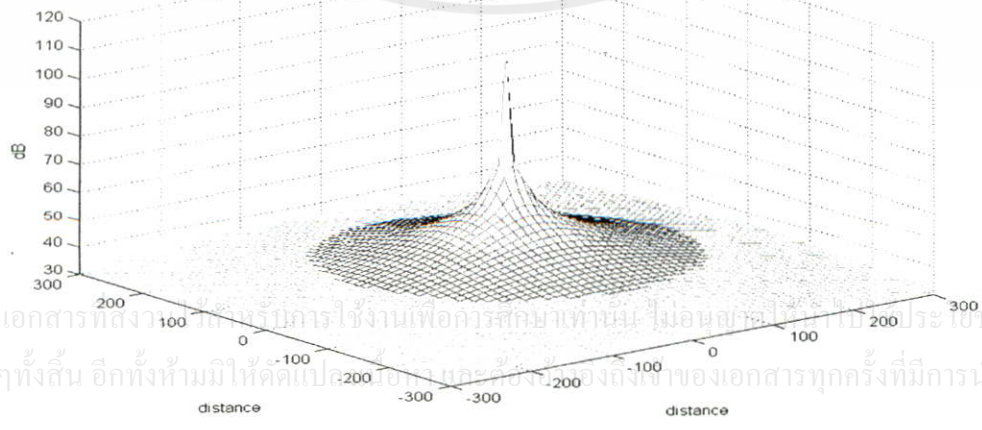
กรณีที่ต้องการแสดงผลตามข้อมูลที่ได้ทำการวัดในพื้นที่จริง ก็จะทำการเลือกหัวข้อ Measurement โดยจะปรากฏหน้าต่าง Load measured value ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งจะเป็นหน้าต่างที่ใช้เพื่อทำการโหลดไฟล์ข้อมูลการวัด และกำหนดระยะทางในการวัดในแนวแกน X และแกน Y อีกทั้งกำหนด Step ในการวัดว่าแต่ละจุดที่ทำการวัดห่างกันเท่าไร และเมื่อกำหนดค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ให้กดปุ่ม OK โปรแกรมก็จะทำการพล็อตตามค่าที่ได้ทำการวัด



รูปที่ 4.4 แสดงหน้าต่างที่ใช้ในการโหลดข้อมูล กำหนดระยะทางและ Step ในการวัด

ในรูปที่ 4.5 จะเป็นการแสดงค่าการลดทอนของสัญญาณและพื้นที่ครอบคลุมเซล ที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 3.6 ในแบบ 3 มิติ

ซึ่งจากสมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น และโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบขึ้น เมื่อนำไปใช้งานในพื้นที่ให้บริการจริงจะได้ผลดังแสดงในหัวข้อต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงผลที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 3.6 โดยใช้โปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบขึ้น

4.2 การทดลองผลการออกแบบการวางเซลในพื้นที่จริง

หลังจากได้ทำการออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะและสร้างโปรแกรมในการออกแบบเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทดลองผลของการออกแบบการวางเซลในพื้นที่ให้บริการจริง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 พื้นที่ใหญ่ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 3.1.4 คือ

1. พื้นที่เขตชานเมือง เป็นเขตพื้นที่ที่มีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ไม่มากนัก และยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ไม่สูงมากนัก โดยจะทำการติดตั้งเซลสเตชั่นในบริเวณถนนรัชดาภิเษก สำหรับทดลองผลการออกแบบการวางเซลในพื้นที่เขตชานเมือง
2. พื้นที่เขตถนนไฮเวย์ เป็นเขตพื้นที่ที่ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ซึ่งในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์นี้ จะใช้พื้นที่บริเวณถนนบางนา-ตราด เป็นพื้นที่ในการทดลอง
3. พื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง เป็นเขตพื้นที่ในเมืองหรือย่านธุรกิจที่มีปริมาณของการใช้งานโทรศัพท์สูง โดยจะใช้พื้นที่บริเวณถนนสีลม เป็นพื้นที่ในการทดลอง

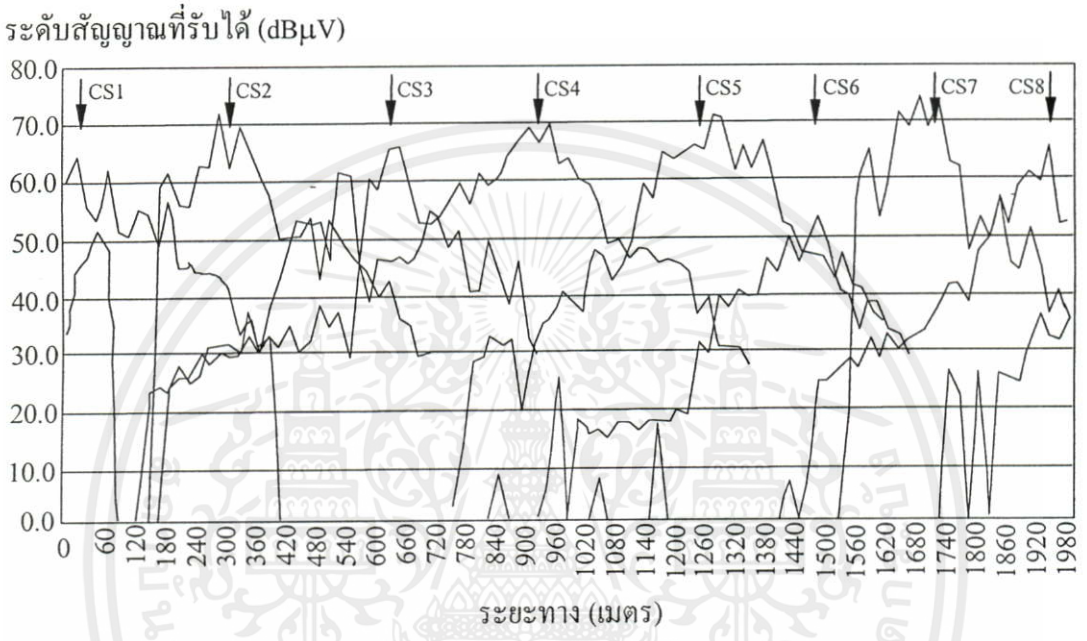
ในการทดสอบจะทำการวัดสัญญาณแบบจุดต่อจุด โดยเปลี่ยนระยะครั้งละ 10 เมตร ซึ่งในการวัดระดับสัญญาณจะใช้เครื่องมือวัดของ LEADER PHS Filed Analyzer LF 960 ดังแสดงในรูปที่ 4.6

รูปที่ 4.6 แสดงเครื่องมือวัดค่าระดับสัญญาณในการทดลอง

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การออกแบบเซลในเขตชานเมือง

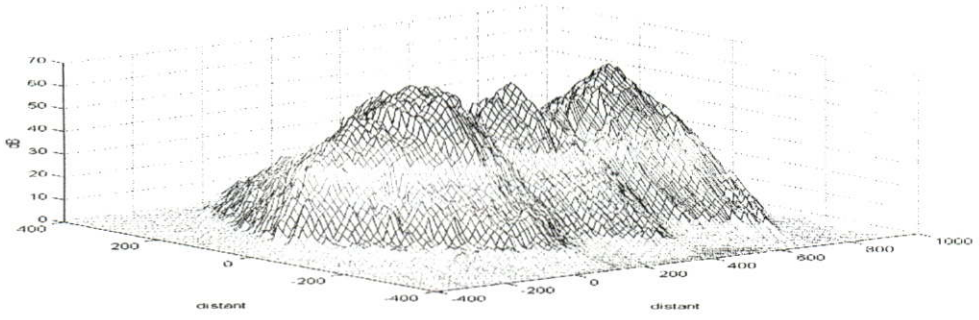
ในการทดลองผลของการออกแบบการวางเซลในพื้นที่เขตชานเมืองนั้น จะทำการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 200 mW ไว้ที่เสาไฟฟ้าบริเวณถนนรัชดาภิเษก โดยจะทำการวางเซลสเตชั่นห่างกันประมาณ 300 เมตร ซึ่งเมื่อทำการทดลองโดยการติดตั้งเซลสเตชั่นในพื้นที่ให้บริการจริงผลการทดลองที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงผลการออกแบบการวางเซลในพื้นที่เขตชานเมือง บริเวณถนนรัชดาภิเษก (กม.ที่ 1 ถึง กม.ที่ 3)

จากรูปที่ 4.7 จะพบว่า ในบริเวณถนนรัชดาภิเษก สัญญาณส่วนใหญ่มีความแรงมากกว่าระดับ 30 dBμV (ระดับสัญญาณที่ใช้ในการเปลี่ยนเซล) และมีเพียงจุดเดียวที่มีสัญญาณต่ำกว่า 40 dBμV ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าที่ CS6 นั้น มีกำลังส่งออกต่ำกว่าปกติ หากทำการเปลี่ยนเซลสเตชั่นที่จุดนี้ก็จะสามารถแก้ปัญหาได้ และจากกราฟยังพบว่า มีการแกว่งของสัญญาณมากพอสมควร ทั้งนี้เนื่องจากสภาพแวดล้อมและการจราจรที่หนาแน่นนั่นเอง และเพื่อให้เกิดความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ในรูปที่ 4.8 จะเป็นการเลือกเซลสเตชั่นจำนวน 3 เซล จากทั้งหมด 8 เซล มาทำการพล็อตตามโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบขึ้น เพื่อแสดงถึงค่าระดับสัญญาณที่รับได้ พื้นที่ครอบคลุมเซล และการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณระหว่างเซลข้างเคียงในพื้นที่เขตชานเมือง

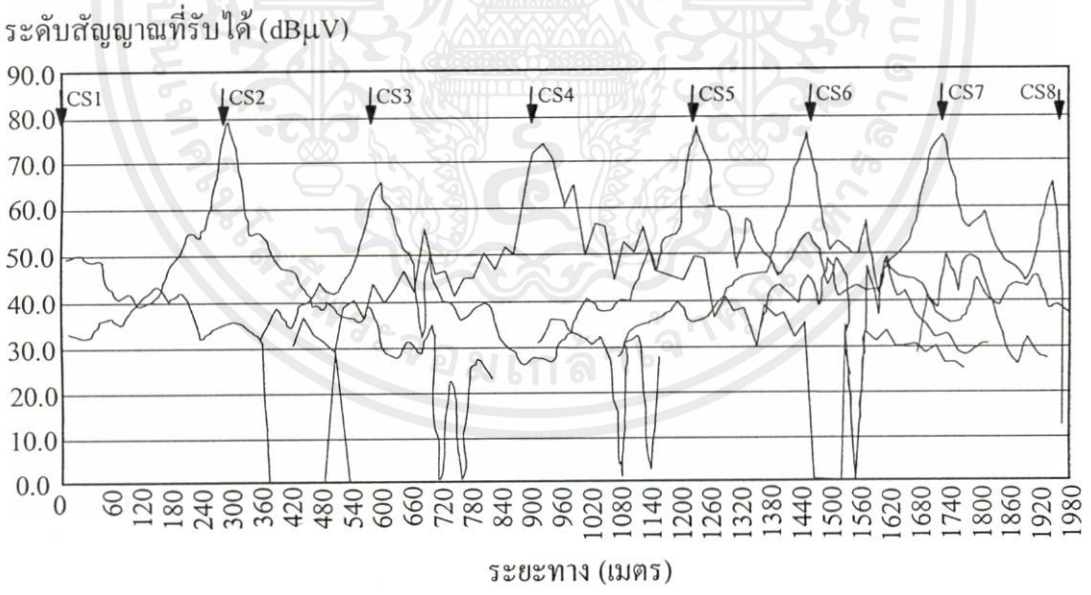
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงค่าระดับสัญญาณที่รับได้ พื้นที่ครอบคลุมเซล และการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณระหว่างเซลข้างเคียงในพื้นที่เขตชานเมือง บริเวณถนนรัชดาภิเษก

4.4 การออกแบบเซลในเขตถนนไฮเวย์

ในการทดลองผลของการออกแบบการวางเซลในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์นั้น จะทำการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 200 mW ไว้ที่เสาไฟฟ้าบริเวณถนนบางนา-ตราด โดยจะทำการวางเซลสเตชั่นห่างกันประมาณ 300 เมตร ซึ่งเมื่อทำการทดลองโดยการติดตั้งเซลสเตชั่นในพื้นที่ให้บริการจริงผลการทดลองที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 4.9

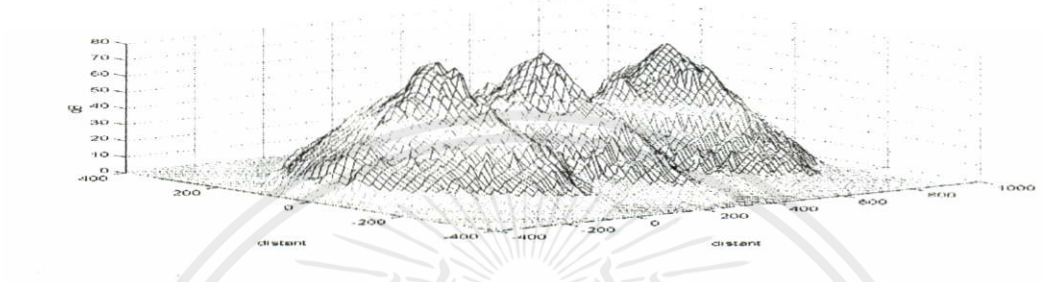


รูปที่ 4.9 แสดงผลการออกแบบการวางเซลในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์ บริเวณถนนบางนา-ตราด (กม.ที่ 1 ถึง กม.ที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.9 เป็นการแสดงผลการวัดสัญญาณบริเวณถนนบางนา-ตราด ซึ่งมีสภาพถนนกว้างมากและมีการสร้างทางด่วนที่ใช้คอนกรีตหนามาก ดังนั้นค่าระดับสัญญาณที่วัดได้จากบางเซล

จึงเบาบางลงมาก แต่ก็พบว่าสัญญาณส่วนใหญ่จะสูงกว่า 40 dBμV ซึ่งถือว่าได้ผลตามที่คาดไว้ แต่อย่างไรก็ดี การปรับปรุงตำแหน่งของ CS1 ยังมีความจำเป็นอยู่ ในรูปที่ 4.10 จะเป็นการเลือกเซลสเตชั่นจำนวน 3 เซล จากทั้งหมด 8 เซล มาทำการพล็อตตามโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบขึ้น เพื่อแสดงถึงค่าระดับสัญญาณที่รับได้ พื้นที่ครอบคลุมเซล และการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณระหว่างเซลข้างเคียงในพื้นที่เขตไฮเวย์

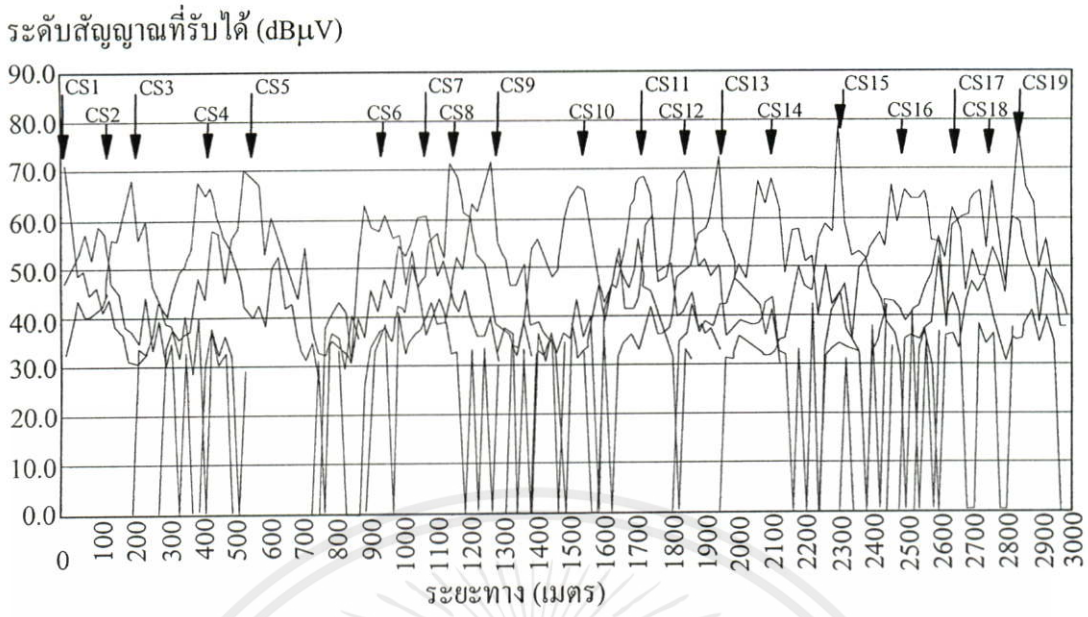


รูปที่ 4.10 แสดงค่าระดับสัญญาณที่รับได้ พื้นที่ครอบคลุมเซล และการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณระหว่างเซลข้างเคียงในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์บริเวณถนนบางนา–ตราด (กม.ที่ 1 ถึงกม.ที่ 3)

4.5 การออกแบบการวางเซลในเขตที่มีการจราจรคับคั่ง

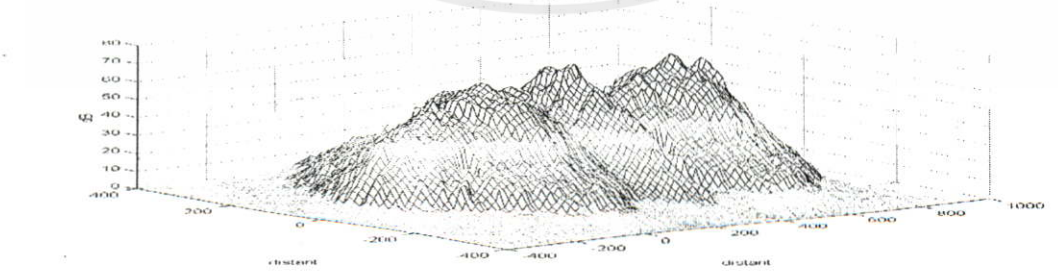
ในการทดลองผลของการออกแบบการวางเซลในพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่งนั้น เนื่องจากเป็นบริเวณย่านธุรกิจ ซึ่งมีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ที่หนาแน่น ถ้าหากการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 200 mW ก็จะมีปริมาณช่องสัญญาณไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งในพื้นที่บริเวณนี้จึงควรที่จะเลือกใช้งานเซลสเตชั่นขนาด 20 mW เพื่อเพิ่มปริมาณช่องสัญญาณให้สามารถรับปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ที่หนาแน่นได้ ดังนั้นในการทดลองได้ทำการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 20 mW ไว้ที่เสาไฟฟ้าบริเวณถนนสีลม โดยทำการวางเซลสเตชั่นห่างกันประมาณ 150 เมตร ซึ่งเมื่อทำการทดลองโดยการติดตั้งเซลสเตชั่นในพื้นที่บริเวณถนนสีลม ผลการทดลองที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงผลการออกแบบการวางเซลในพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง บริเวณถนนสีลม

ในรูปที่ 4.11 เป็นการแสดงผลจากการวัดสัญญาณบริเวณถนนสีลม ระดับสัญญาณส่วนใหญ่จะสูงกว่า 30 dBμV โดยมีเพียงจุดเดียวเท่านั้นที่สัญญาณต่ำกว่า 30 dBμV ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าเป็นจุดสี่แยกไฟจราจรที่ไม่สามารถติดตั้งเซลสเตชั่นได้ ระยะทางช่วงนี้จึงมากเกินกว่าที่กำหนดไว้ แต่ก็ยังสามารถใช้งานได้อย่างดี และถ้าหากต้องการที่จะแก้ไขให้มีระดับสัญญาณมากกว่า 40 dBμV ก็สามารถทำได้ โดยการใช้สายอากาศที่มีเกนมากขึ้นหรือติดตั้งเซลสเตชั่นเพิ่มขึ้นโดยติดตั้งตามอาคารที่มีตำแหน่งใกล้กับกลางสี่แยกมากที่สุด ในรูปที่ 4.12 จะเป็นการเลือกเซลสเตชั่นจำนวน 3 เซล จากทั้งหมด 19 เซล มาทำการพล็อตตามโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบขึ้น เพื่อแสดงถึงค่าระดับสัญญาณที่รับได้ พื้นที่ครอบคลุมเซล และการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณระหว่างเซลข้างเคียงในพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.12 แสดงค่าระดับสัญญาณที่รับได้ พื้นที่ครอบคลุมเซล และการเหลื่อมล้ำกันของสัญญาณระหว่างเซลข้างเคียงในพื้นที่เขตที่มีการจราจรหนาแน่น

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในปัจจุบันความต้องการในการติดต่อสื่อสารและการใช้งานความถี่นั้น นับวันจะยิ่งมีความต้องการมากยิ่งขึ้น ทำให้แถบความถี่ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยมีแนวโน้มที่จะมีการนำความถี่ในช่วงที่สูงขึ้นมาใช้งาน สำหรับความถี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะใช้กันในอนาคตหรือที่เรียกย่อๆ ว่า FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication System) นั้น จะมี ITU (International Telecommunication Union) เป็นผู้ควบคุม และได้มีการกำหนดการใช้งานความถี่ไว้ 2 ช่วงคือ 1,885-2,025 MHz และ 2,010-2,200 MHz ตามลำดับ สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีที่ใช้งานอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบันจะมีใช้งานอยู่ในช่วงความถี่ 1895-1918 MHz ซึ่งก็จัดอยู่ในช่วงความถี่ย่าน FPLMTS เช่นกัน นอกจากนี้ในการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคต ยังมีแนวโน้มที่จะมีขนาดของเซลที่เล็กลงอีกด้วย ซึ่งในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะมีขนาดของเซลในระดับไมโครเซล แต่ขนาดของเซลสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคต อาจจะมีขนาดของเซลที่เล็กลงไปถึงระดับของนาโนเซลหรือพิโครเซล เลยทีเดียว

ด้วยเหตุที่เซลมีขนาดเล็ก จึงทำให้ต้องมีการศึกษาถึงลักษณะการลดทอนของสัญญาณและออกแบบการวางเซลสเตชั่นสำหรับให้บริการด้วยความละเอียดรอบคอบ โดยคำนึงถึงคุณภาพของการให้บริการในพื้นที่ให้บริการเป็นสำคัญ

5.1 ผลการออกแบบเซลในพื้นที่ต่างๆ

จากการทดลองทำการวางเซลตามที่ได้ทำการออกแบบขึ้น โดยอาศัยการคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นตามสมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น และด้วยการใช้หลักการวางเซลให้ได้ 2 แคเรียร์ต่อพื้นที่ และโปรแกรมการออกแบบการวางเซล ทำให้ผลที่ได้จากการทดลองทำการวางเซลตามที่ได้ทำการออกแบบขึ้นในพื้นที่ให้บริการจริงทั้ง 3 พื้นที่ คือ พื้นที่เขตชานเมือง พื้นที่เขตถนนไฮเวย์ และพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่งนั้น มีค่าระดับสัญญาณอยู่ในระดับที่น่าพอใจ กล่าวคือ ค่าระดับสัญญาณส่วนใหญ่จะมีความแรงมากกว่า 30 dBμV ซึ่งทำให้สามารถสรุปได้ว่า ด้วยการใช้รูปแบบการวางเซลที่ได้ทำการออกแบบขึ้น และการใช้หลักการวางเซลในลักษณะ 2 แคเรียร์ต่อพื้นที่ ทำให้สามารถให้บริการโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยถ้ามีการใช้งานเซลสเตชั่นขนาดกำลังส่ง 200 mW ก็จะต้องทำการวางเซลสเตชั่นห่างกัน 300 เมตร และถ้ามีการใช้งานเซลสเตชั่นขนาด 20 mW ก็จะต้องทำการวางเซลสเตชั่นห่างกัน 150 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของการออกแบบการวางเซลที่ได้จากการคำนวณและการทดลอง

จากการเปรียบเทียบค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ 3.6 กับค่าที่วัดได้จริงใน 3 พื้นที่ที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นได้ว่า ค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณและค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ถึงแม้ว่าจะมีการเฟดดิ้งของสัญญาณสูงถึง 10 dB ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานอยู่ 2 dB นั่นก็หมายความว่าจะต้องปรับปรุงตำแหน่งการติดตั้งเซลสเตชั่นให้ดีขึ้น แต่ทั้งนี้ก็ยังสามารถใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นพื้นฐานในการออกแบบ เพื่อหาระยะทางที่เหมาะสมสำหรับการวางเซลสเตชั่นได้

5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบ

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาอันเนื่องมาจากการติดตั้งเซลสเตชั่น เนื่องจากในบางพื้นที่นั้น ระยะห่างระหว่างเสาไฟฟ้าจะมีระยะห่างที่ไม่เท่ากัน ทำให้ค่าระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นในบางจุดเกิดคาดเคลื่อนไปจากค่าที่ได้ทำการออกแบบไว้ และในบางพื้นที่จะมีต้นไม้ที่อยู่ริมถนนในปริมาณที่หนาแน่นมาก ทำให้ค่าระดับสัญญาณที่รับได้ที่จุดต่างๆ ในบริเวณนั้น มีค่าต่ำกว่าที่ได้ทำการคำนวณไว้

5.4 สรุปและข้อเสนอแนะ

จากที่ได้ทำการออกแบบการวางเซลและทำการทดลองในพื้นที่ให้บริการจริงทำให้สามารถสรุปได้ว่า ด้วยการใช้สมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ทำการปรับปรุงขึ้น หลักการวางเซลให้ได้ 2 แคร์เรียต่อพื้นที่ และโปรแกรมในการออกแบบการวางเซลที่ได้ทำการออกแบบขึ้น จะทำให้ได้รูปแบบการวางเซลที่สามารถให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในพื้นที่สาธารณะได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยระดับสัญญาณส่วนใหญ่จะมีค่าที่สูงกว่า 30 dBμV สำหรับรูปแบบการวางเซลที่ได้ทำการออกแบบขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ให้บริการและการเลือกใช้งานเซลสเตชั่น กล่าวคือ

ในกรณีพื้นที่เขตชานเมือง จะต้องทำการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 200 mW บริเวณเสาไฟฟ้าที่อยู่ริมถนนสายหลักต่างๆ โดยทำการติดตั้งเซลสเตชั่นให้มีระยะห่างกัน 300 เมตร และทำการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 20 mW ในบริเวณถนนที่เป็นตรอก หรือซอย โดยทำการติดตั้งเซลสเตชั่นให้มีระยะห่างกัน 150 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีพื้นที่เขตถนนไฮเวย์ ทำการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 200 mW บริเวณเสาไฟฟ้าที่อยู่ริมถนน โดยทำการติดตั้งเซลสเตชั่นให้มีระยะห่างกัน 300-500 เมตร และสำหรับในบริเวณที่เป็น

ทางขึ้นหรือลง ทางด่วน จะต้องทำการติดตั้งเซลสเตชั่นให้ถี่ขึ้นเพื่อให้สามารถรองรับปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ที่เพิ่มขึ้นได้

ในกรณีพื้นที่เขตที่มีการจราจรคับคั่ง ทำการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 20 mW บริเวณเสาไฟฟ้าที่อยู่ริมถนน เพื่อเพิ่มปริมาณช่องสัญญาณให้สามารถรองรับปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ที่หนาแน่นในบริเวณนั้นได้ โดยทำการติดตั้งเซลสเตชั่นให้มีระยะห่างกัน 150 เมตร

แต่ในการติดตั้งเซลสเตชั่นสำหรับใช้งานในพื้นที่จริงนั้น นอกจากรูปแบบการวางเซลตามที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้ว เพื่อให้รูปแบบการวางเซลที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมีคุณภาพในการใช้งานที่สูงที่สุด สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงก็คือ

1. ในการติดตั้งเซลสเตชั่น ควรจะทำการวางเซลสเตชั่นให้อยู่บนฝั่งถนนเดียวกันให้มากที่สุด เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของพื้นที่ให้บริการ
2. ในกรณีที่ไม่สามารถติดตั้งเซลสเตชั่นในตำแหน่งที่กำหนดได้ ให้ติดตั้งในตำแหน่งใหม่ที่มีระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นลดลง
3. ไม่ควรติดตั้งเซลสเตชั่นในลักษณะผสม 20 mW และ 200 mW ในบริเวณเดียวกัน เพราะอาจจะทำให้เกิดพื้นที่ที่เป็นจุดบอดหรือจุดอับของสัญญาณขึ้นได้
4. การวางเซลในย่านธุรกิจควรจะใช้เซลสเชั่นขนาด 20 mW วางในตำแหน่งใกล้สี่แยก เพื่อให้สามารถใช้งานครอบคลุมได้ทั้งถนนหลักและในซอยพร้อมกันโดยสามารถลดระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นลงมาให้อยู่ในช่วง 100 - 150 เมตรได้ การวางเซลเพื่อเพิ่มปริมาณทราฟฟิคของคนเดิน ควรวางเข้าไปในซอยโดยให้ลึกจากปากซอยมากกว่า 100 เมตร
5. การวางเซลในบริเวณสี่แยกต่างๆ ควรวางเซลสเตชั่นขนาดเดียวกับเซลสเตชั่นในถนนเส้นนั้นๆ คือ ทำการติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 200 mW หรือ 20 mW อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงขนาดเดียว และควรจะเป็น Paging area เดียวกันด้วย โดยลดระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นลงให้เหลือ 100 เมตร ถึง 200 เมตร และ ถ้าสามารถแยก Paging area ได้ควรจะใช้เซลสเตชั่นขนาด 20 mW
6. พื้นที่บริเวณสี่แยกให้ทำการวางเซลใกล้ๆ สี่แยกประมาณ 50 เมตร ทั้ง 4 ด้าน ถ้าต้องการเพิ่มปริมาณทราฟฟิคควรใช้วิธีการ Stack ทั้ง 4 ด้านของสี่แยก

นอกจากนี้ในการวางเซลสเตชั่นสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะนั้น จะต้องพิจารณาถึงเซลสเตชั่นที่ติดตั้งอยู่ภายในอาคารด้วย ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของพื้นที่ให้บริการ ซึ่งจะช่วยให้คุณภาพในการให้บริการดียิ่งขึ้น

เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Fred J. Ricci, "Personal Communications Systems Applications," Prentice Hall, 1997.

[2] Bell Communication Research (BellCore), "Comparison of Low Power Wireless Access Systems: PACS PHS and DECT for Public Environment," 1996.

[3] TR 056,"DECT System description," ETSI, July 1993.

[4] Ministry of Posts & Telecommunications (MPT), Japan "Personal Handy-phone System Guidebook," 1995.

[5] Theodore s. Rappaport , " Wireless Communications," Prentice Hall PTR , 1996

[6] Telecom training Department-TT&D, "PCT Network Introduction," Version 3, November 26, 1997.

[7] Jerry D. Gibson, " The Mobile Communication Handbook," CRC Press, Inc., 1996

[8] ETR 015, "DECT reference document", ETSI, March 1991.

[9] Vijay k. Gargand Joseph E. Wilkes , " Wirless and Personal Communication Systems," Prentice Hall PTR , 1996

[10] S. Ghaheri Niri, R. Tafazoli, B.G. Evans, "Wide Area Mobility for DECT," IEEE Global Telecommunications Conference, vol.2, pp. 1119-1125, Nov.1996.

[11] Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT) "Personal Handy-phone and the VI&P Concept," 1995.

[12] S.Sampei, "Application of digital wireless technologies to global wireless communications," Prentice Hall, 1997.

[13] Association of Radio Industries and Businesses (ARIB), "Personal Handy- Phone System ARIB Standard," Version 2, December 26, 1995.

[14] Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT) "Information on Personal Handy-phone System," August, 1995.

[15] W.C.Y. Lee, "Mobile Cellular Telecommunication System," McGraw Hill Inc. 1989.

[16] T. Okumura, E. Ohmori, and K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile service," Review of Electrical Communication Laboratory, Vol.16, No.9-10, September-October 1968, pp. 825-73

[17] Masaharu HATA, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," IEEE Trans. on Vehic. Technol., Vol. VT-29, August 1990.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[18] Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT) "Personal Communications Network," 1996.

[19] Asia-Pacific Mobile Telecommunication System Seminar "Personal Handy-phone System," March 16, 1995.

[20] ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์ พิสิฐ บุญศรีเมือง ถวิล พึ่งมา และ มนูญ สุขเกษม "การออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ครั้งที่ 21, 12-13, พ.ย. 2541

[21] T. Paungma, M. Sukkasem, "PCT-The New Service for Digital Wireless Communication in Thailand," 20th AIC Conference (Kuala Lumpur), March 2-6,1998.

[22] P. Mougnoul, P. Tungtisanon T. Paungma, "PCT-The New Service for Digital Wireless Communication in Thailand," The 16th (1998) International Telecommunication Symposium ITS'98. 1998, pp 51-56.

[23] สหะไชย วิลาสุวรรณ. 2537. "วิธีการออกแบบระบบและเลือกตำแหน่งของเซลในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[24] P. Mougnoul, N. Namung, M. Sukkasem, and T. Paungma, "The computation and experimental results for cell coverage regions for a PCT system," The 16th (1998) International Telecommunication Symposium ITS'98. 1998, pp.57-62.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณ การหาการลดทอนของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

Outdoor Cell Station Design Program for PCT System

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure( ...
    'NumberTitle','off', ...
    'Name','Outdoor Cell Station Design Program for PCT System', ...
    'MenuBar','None',...
    'Position',[50 100 550 300],...
    'Color',[.3 .9 .9],...
    'Pointer','arrow');
set(gca,'position',[0 0 1 1]);
axis off

file_opt = uimenu(gcf,...
    'Label','File');
uimenu(file_opt,...
    'Separator','on',...
    'Label','Exit',...
    'CallBack','close');

comp_opt = uimenu(gcf,...
    'Label','Computation',...
    'CallBack','compu');


meas_opt = uimenu(gcf,...
    'Label','Measurment',...
    'CallBack','measure');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
dim_opt = uimenu(gcf,...
    'Label','Dimension');
uimenu(dim_opt,...
```

```
    'Label','Two Dimension',...
    'CallBack','asign');
uimenu(dim_opt,...
    'Label','Three Dimension',...
    'CallBack','cha_fac');

h = text(0.1,.6,'Computation of Outdoor Propagation Path Loss Models',...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi');
axis([-1 1 -1 1]);axis off;
h = text(0,.25,'By',...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi');
h = text(0.08,-.15,'Assoc.Prof.Dr.Tawil Paungma & Thanate Pattanatadapong',...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi');
h = text(0.05,-.35,'Telecommunication KMITL',...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi');
h = text(0.07,-.55,'*********************************',...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%%

Definingin Computation'

%%

```
freq=' '
csant=' '
psant=' '

figure( ...
    'NumberTitle','off', ...
    'Name','Defining in Computation', ...
    'MenuBar','None',...
    'Position',[50 100 400 200],...
    'Color',[.3 .9 .9],...
    'Pointer','arrow');
set(gca,'position',[0 0 1 1]);
axis off

text(0.12,.620,['Frequency :'],...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

fre_q = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.50 .600 .15 .065],'Units','normalized',...
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(freq),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(fre_q,"String")) < 1 | str2num(get(fre_q,"String")) > 999,',...
          'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
          'set(fre_q,"String",num2str(freq)),',...
          'return.',...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        'end,',...
    'freq=str2num(get(fre_q,"String"));']);

text(0.7,.625,'MHz',...
    'FontWeight','Demi',...
  'Units','Normalized');

text(0.12,.520,'CS Antenna Hight :',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

cs_ant = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.50 .500 .15 .065],'Units','normalized',...
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(csant),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(cs_ant,"String")) < 1 | str2num(get(cs_ant,"String")) > 999,',...
         'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
         'set(cs_ant,"String",num2str(csant)).',...
         'return,',...
        'end,',...
    'csant=str2num(get(cs_ant,"String"));']);

text(0.7,.525,'m',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

text(0.12,.420,'PS antenna hight :',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ps_ant = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.50 .400 .15 .065],'Units','normalized',...
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(psant),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(ps_ant,"String")) < 1 | str2num(get(ps_ant,"String")) > 999,',...
         'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
         'set(ps_ant,"String",num2str(psant)).',...
         'return,',...
        'end,',...
    'psant=str2num(get(ps_ant,"String"));']);

text(0.7,.425,'m',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

yes_button = uicontrol(gcf,...
    'Style','push',...
    'Position',[.35 .05 .1 .07],'Units','normalized',...
    'String','OK',...
    'CallBack','compu_OK_asign');

no_button = uicontrol(gcf,...
    'Style','push',...
    'Position',[.55 .05 .1 .07],'Units','normalized',...
    'String','Close',...
    'CallBack','close');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
```

Load Measured Value

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
path = '      '
rangex='      '
rangey='      '
step = '      '

figure( ...
    'NumberTitle','off', ...
    'Name','Load Measured Value', ...
    'MenuBar','None',...
    'Position',[50 100 400 200],...
    'Color',[.3 .9 .9],...
    'Pointer','arrow');
set(gca,'position',[0 0 1 1]);
axis off

text(0.30,.820,['Path :'],...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

pat_h = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.50 .800 .15 .065],'Units','normalized',...
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(path),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(pat_h,"String")) < 1 | str2num(get(pat_h,"String")) > 999,',...
            'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
            'set(pat_h,"String",num2str(path)),',...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            'return,',...
            'end,',...
        'path=str2num(get(pat_h,"String"));']);

text(0.30,.620,'Range x :',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

range_x = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.50 .600 .15 .065],'Units','normalized',...
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(rangex),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(range_x,"String")) < 1 | str2num(get(range_x,"String")) > 999,',...
        'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
        'set(range_x,"String",num2str(rangex)),',...
        'return,',...
        'end,',...
    'rangex=str2num(get(range_x,"String"));']);

text(0.7,.625,'m',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

text(0.30,.420,'Range y :',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
range_y = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
```

```
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.50 .400 .15 .065],'Units','normalized',...
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(rangey),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(range_y,"String")) < 1 | str2num(get(range_y,"String")) > 999.',...
         'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
         'set(range_y,"String",num2str(rangey)),',...
         'return,',...
        'end,',...
   'rangey=str2num(get(range_y,"String"));']);

text(0.7,.425,'m',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

text(0.30,.220,'Step :',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

ste_p = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.50 .200 .15 .065],'Units','normalized',...
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(step),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(ste_p,"String")) < 1 | str2num(get(ste_p,"String")) > 999.',...
         'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
         'set(ste_p,"String",num2str(step)),',...
         'return,',...
        'end,',...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    'step=str2num(get(ste_p,"String"));']);

text(0.7,.225,'m',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

yes_button = uicontrol(gcf,...
    'Style','push',...
    'Position',[.35 .05 .1 .07],'Units','normalized',...
    'String','OK',...
    'CallBack','measure_OK_asign');

no_button = uicontrol(gcf,...
    'Style','push',...
    'Position',[.55 .05 .1 .07],'Units','normalized',...
    'String','Close',...
    'CallBack','close');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้รับการตีพิมพ์ ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พฤศจิกายน 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21 พ.ศ. 2541 CM055

การออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT

Cell design for public mode service in Personal Communication Telephone (PCT) System

ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์ พิสิฐ บุญศรีเมือง ถวิล พึ่งมา และ มนูญ สุขเกษม
ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2 หมู่ 3 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทร (02)3266052-101 ต่อ 2547 โทรสาร (02) 3269080 E-mail : tawilp@telelan.telecom.eng.kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในบทความนี้นำเสนอการออกแบบการวางเซลสเตชั่น (Cell Station : CS) ที่เหมาะสมในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT โดยการคำนวณหาการครอบคลุมพื้นที่ของเซล และนำมาใช้ในการหาระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่น โดยจะใช้ค่าการสูญเสียของสัญญาณในย่านความถี่ 1900 MHz มาทำการพิจารณาร่วมกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น กำลังส่งของเซลสเตชั่น ความไวในการรับของเครื่อง PCT ระดับของสัญญาณที่ใช้สำหรับการข้ามเซล ซึ่งจะใช้เทคนิคการแฮนด์โอเวอร์ (Handover) และความสูงในการติดตั้งเซลสเตชั่นด้วย สำหรับผลที่ได้จากการคำนวณเมื่อนำมาทำการออกแบบและติดตั้งทดสอบบริเวณถนนรัชดาภิเษก ถนนสีลม และถนนบางนา-ตราด ที่มีสภาพพื้นที่และปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ที่แตกต่างกัน จะนำมาใช้ปรับปรุงการวางตำแหน่งเซลสเตชั่น เพื่อให้การบริการในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT มีประสิทธิภาพมากขึ้น

Abstract

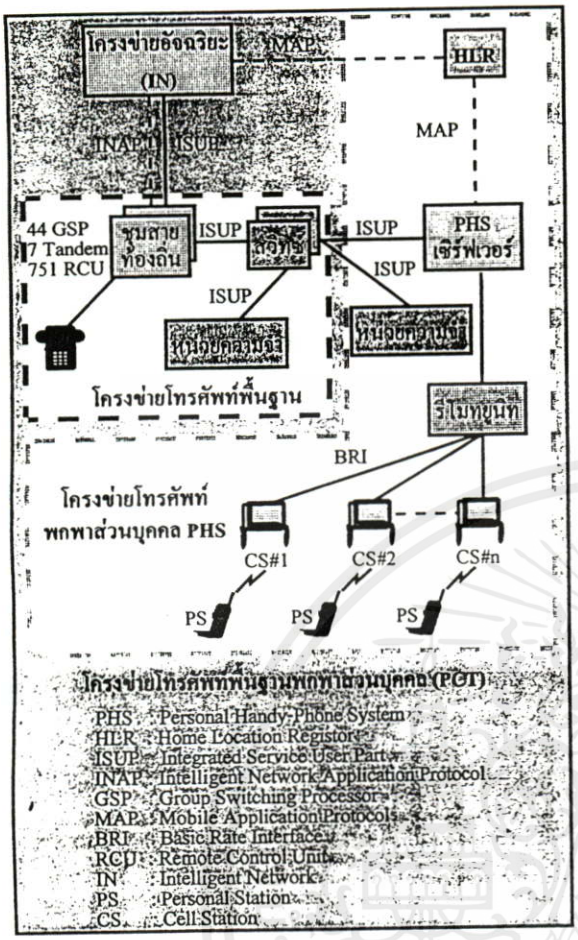
This paper presents the Public cell station layout for Personal Communication Telephone (PCT) system. The cell station coverage plan in the PCT system was described. The distance between cell station was calculated with focus on the following factors such as the propagation path loss in the 1900 MHz frequency band, cell station output power, sensitivity of personal station, handover level and height of cell station installation. The test area were set up in three areas; Ratchadapisek road, Srilom road and Bangna-Trad road. The deviation of the calculated and derived experimental results were discussed.

1.บทนำ

ระบบ PCS (Personal Communication System) หรือการสื่อสารส่วนบุคคลเป็นระบบที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก และที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายก็คือ ระบบ PACS (Personal Access Communication System)[1] ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone) ระบบ PHS (Personal Handy-phone System)[2] สำหรับในประเทศไทยได้นำเอาระบบ PHS ซึ่งเป็นระบบที่ใช้งานในประเทศญี่ปุ่น มาทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น และมีความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานในประเทศไทย เพื่อให้บริการในลักษณะการสื่อสารไร้สาย ที่ใช้เลขหมายเดียวกับเลขหมายที่บ้าน และเปลี่ยนชื่อเป็นโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT : Personal Communication Telephone)[3] ซึ่งใช้คลื่นความถี่ย่าน 1900 MHz (1895-1918 MHz) ลักษณะการใช้งานของเครื่อง PCT สามารถทำได้ 4 รูปแบบคือ รูปแบบที่ 1 ใช้งานในลักษณะเป็นโทรศัพท์ไร้สาย (Cordless Telephone) รูปแบบที่ 2 ใช้งานภายในอาคารร่วมกับชุมสายปลายทางแบบไร้สาย (WPABX : Wireless Private Automatic Branch Exchange) รูปแบบที่ 3 ใช้งานในสถานที่สาธารณะโดยการวางเซลสเตชั่นตามสถานที่ต่างๆ เช่น สถานีรถไฟ สถานีขนส่ง ฯลฯ รูปแบบที่ 4 ใช้ภายในยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ (ไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) สำหรับช่องสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT จะมีทั้งหมด 77 ช่องสัญญาณ โดยใช้ความถี่ย่าน 1895.15-1917.95 MHz แต่ละช่องห่างกัน 300 kHz การใช้งานทั้ง 4 รูปแบบนี้ จะกำหนดโดยช่องตารางความถี่ที่ใช้สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความถี่ที่ใช้งานในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT

ช่องสัญญาณ	ความถี่ (MHz)	ชนิดการใช้งาน
1-10	1895.150-1897.850 (แต่ละช่องสัญญาณความถี่ห่างกัน 300 kHz)	ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างเครื่อง PS ด้วยกัน
11-37	1898.150-1905.950 (แต่ละช่องสัญญาณความถี่ห่างกัน 300 kHz)	ใช้สำหรับการสื่อสารภายในอาคาร เช่น การใช้ WPABX
38-69	1906.250-1915.550 (แต่ละช่องสัญญาณความถี่ห่างกัน 300 kHz)	ใช้สำหรับภายนอกอาคารสำหรับสาธารณะ
70-77	1915.850-1917.950 (แต่ละช่องสัญญาณความถี่ห่างกัน 300 kHz)	ใช้สำหรับเป็นช่องควบคุมสำหรับผู้ให้บริการ

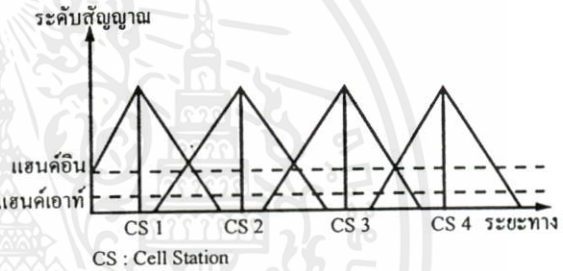


รูปที่ 1 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT

โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งจะเป็นการนำเอาโครงข่าย 3 โครงข่าย[4] คือ โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน (PSTN : Public Switched Telephone Network) โครงข่ายอัจฉริยะ (IN : Intelligent Network) และโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS มาทำงานร่วมกัน เพื่อให้สามารถใช้งานเลขหมายของเครื่อง PCT เป็นเลขหมายเดียวกับเลขหมายที่บ้าน นอกจากนี้ยังได้ทำการปรับปรุงเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT ให้มีขนาดใหญ่กว่าเซลในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS เพื่อให้สามารถใช้งานภายในยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น สำหรับการข้ามเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT นั้น จะใช้เทคนิคการแฮนด์โอเวอร์ (Handover) ซึ่งมีรูปแบบการทำงานคือ เมื่อเครื่อง PCT มีการเคลื่อนที่จากเซลหนึ่งไปยังอีกเซลหนึ่ง เมื่อระดับของสัญญาณในเซลที่ 1 ลดลงถึงระดับการแฮนด์เอาท์ (Hand-out) เครื่อง PCT ก็จะทำการหาสัญญาณรอบๆ ตัว ว่า มีสัญญาณในเซลข้างเคียงหรือไม่ ถ้ามีก็จะทำการข้ามไปยังเซลที่ 2 ทันที โดยมีข้อแม้ว่าระดับของสัญญาณในเซลที่ 2 จะต้องมากกว่าระดับของการแฮนด์อิน (Hand-in)

2. การวางตำแหน่งเซลสเตชั่น

การวางเซลในโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT นั้น จะทำการวางเซลสเตชั่นไปตามถนนทั่วทั้งกรุงเทพฯ และปริมณฑลดังแสดงในรูปที่ 2 สำหรับคุณสมบัติทั่วไปของเซลสเตชั่นแสดงดังในตารางที่ 2 เนื่องจากในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT จะใช้เซลที่มีขนาดเล็กแบบนาโนเซล ซึ่งมีการแพร่กระจายคลื่นในระยะทางสั้นๆ เพียงไม่กี่ร้อยเมตรเท่านั้น การคำนวณหาขนาดของพื้นที่ครอบคลุมเซลจึงจะต้องทำด้วยความละเอียดรอบคอบเพราะถ้าวางเซลผิดพลาดจะทำให้คุณภาพของระบบเสียไป เช่น ในกรณีที่ทำการวางเซลห่างกันเกินไปจะทำให้เกิดพื้นที่ที่เป็นจุดบอดของสัญญาณ ทำให้ในบริเวณนั้นไม่สามารถทำการติดต่อสื่อสารกันได้ หรือ ในกรณีที่วางเซลชิดกันเกินไปก็จะต้องใช้เซลสเตชั่นจำนวนมาก ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงเกินความจำเป็นและอาจจะเกิดครบกวนของสัญญาณระหว่างเซลข้างเคียงขึ้นได้ ดังนั้นจึงต้องมีการวางเซลให้มีระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นที่เหมาะสม เพื่อให้ได้คุณภาพที่ดีที่สุดในการใช้งาน



รูปที่ 2 ลักษณะการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทั่วไปของเซลสเตชั่นในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT

คุณสมบัติ	รูปแบบที่ใช้
ย่านความถี่	1.9 GHz (1895.15-1917.95 MHz)
ลักษณะการทำงาน	TDMA/TDD
ปริมาณช่องสัญญาณ / คลื่นพาหะ RF	4
วิธีการมอดูเลท	$\pi/4$ QPSK
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	32 kbps ADPCM
อัตราการส่งสัญญาณควบคุม	384 kbps
กำลังส่งทางด้านเอาท์พุท	CS : 200 mW PS : 5-10 mW
ช่องว่างระหว่างคลื่นพาหะ	300 kHz
ลักษณะของสายอากาศ	สายอากาศแบบไดโพล กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 การหาระยะห่างระหว่างเซลจากการคำนวณการลดทอนของสัญญาณ

การหาระยะทางระหว่างเซลสเตชั่นในบทความนี้จะใช้สมการพื้นฐานตามสมการที่ 1[5] โดยสมมุติว่าไม่มีสิ่งกีดขวางและเปรียบเทียบกับสมการที่ 2 เป็นสมการของ Okumura[6] และ Hata[7] ที่ใช้ทดลองในญี่ปุ่นโดยมีความสูงของสายอากาศเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่เนื่องจากระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT จะวางเซลสเตชั่นไว้ริมถนนทั่วไป จึงอาจถือได้ว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่ไม่มากนัก ดังนั้นในบทความนี้ จึงทำการปรับปรุง 2 สมการที่กล่าวมาแล้ว โดยใช้ค่าเริ่มต้นของการสูญเสียสัญญาณที่ 38.4 dB (ประมาณ 93.6 dBμV) ซึ่งเป็นค่าระดับสัญญาณที่ส่งออกจาก CS เมื่อระยะทางเป็น 1 เมตร และใช้ค่าสโลปที่มีค่าแกรมม่าเป็น 30.5 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้สำหรับบริเวณชานเมืองในประเทศไทยและใช้ความถี่ 1910 MHz ในการคำนวณ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศของประเทศไทย ดังสมการที่ 3

$$L_{pf}(dB) = 32.44 + 20\log_{10}f_c + 20\log_{10}d \quad (1)$$

$$L_p(dB) = 69.55 + 26.16\log_{10}f_c + (44.9 - 6.55\log_{10}h_b)\log_{10}d - 13.82\log_{10}h_b - a(h_m) \quad (2)$$

$$L(dB) = 38.4 + 20\log_{10}f_c + (30.5 - 6.55\log_{10}h_b)\log d - 13.82\log_{10}h_b - a(h_m) \quad (3)$$

เมื่อ $a(h_m) = [1.1\log_{10}f_c - 0.7]h_m - [1.56\log_{10}f_c - 0.8]$ (4)

โดยที่ L เป็นการสูญเสียของสัญญาณจากสมการที่ 3

L_{pf} เป็นการสูญเสียของสัญญาณใน free space

L_p เป็นการสูญเสียของสัญญาณในพื้นที่ชานเมือง

f_c เป็นความถี่แคเรียร์ ซึ่งบทความนี้จะใช้ความถี่ 1910 MHz

h_b เป็นความสูงของเซลสเตชั่น เท่ากับ 4.5 เมตร

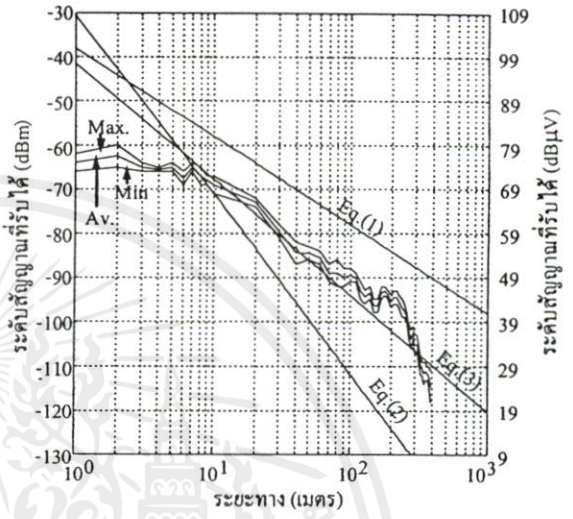
h_m เป็นความสูงของเครื่อง PCT เท่ากับ 1.5 เมตร

d เป็นระยะทางที่ห่างจากเซลสเตชั่นมีหน่วยเป็นกิโลเมตร

เมื่อกำหนดให้มีการเฟดดิ้งไม่เกิน 10 dB ตามข้อกำหนดของ Rayleigh fading และแทนค่าการลดทอนของสัญญาณเท่ากับ 30 dBμV ซึ่งเป็นระดับสัญญาณที่เครื่อง PCT สามารถทำการข้ามเซลได้ (handover) และแทนค่า f_c = 1910 MHz, h_b=4.5 เมตร, h_m= 1.5 เมตร เมื่อแทนค่าในสมการที่ 3 จะได้ระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นเท่ากับ 320.77 เมตร สำหรับเซลสเตชั่น ขนาด 200 mW

4. การทดลอง

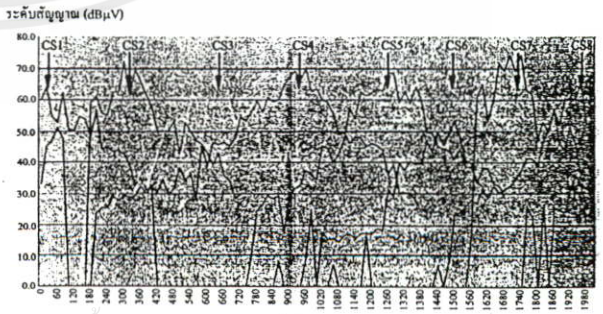
ในการทดลองวัดค่าการลดทอนของสัญญาณจากเซลสเตชั่นที่มีขนาด 200 mW ที่ติดตั้งในย่านชานเมือง (ถนนอ่อนนุช) แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการคำนวณในสมการที่ 1 ถึง 3 ได้ผลดังรูปที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ถ้าใช้สมการที่ 1 และสมการที่ 2 ค่าที่ได้จากการคำนวณจะผิดพลาดมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ เพราะในสมการที่ 1 จะใช้ในกรณีที่ไม่มีสิ่งกีดขวางเลย ส่วนสมการที่ 2 จะใช้ในกรณีที่วางเซลในเมืองที่มีตึกบังพอสมควรซึ่งมีการลดทอนของสัญญาณค่อนข้างมาก แต่จะเห็นได้ว่าในสมการที่ 3 นั้น ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ จึงเหมาะที่จะใช้ในการออกแบบการวางเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT เป็นอย่างมาก



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบค่าการลดทอนของสัญญาณจากการคำนวณกับค่าที่ได้จากการวัด

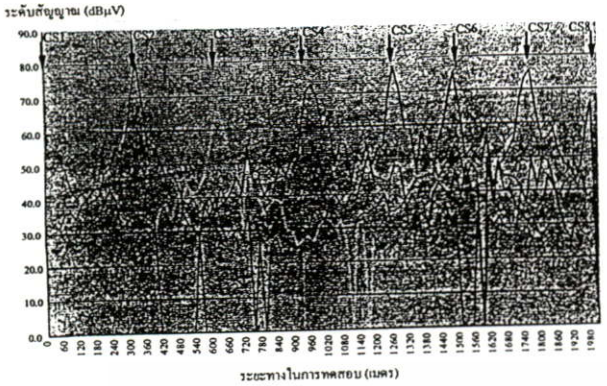
5. ผลการทดสอบในพื้นที่ให้บริการจริง

หลังจากทำการคำนวณหาค่าระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นได้แล้ว ได้ทำการทดลองวัดระดับสัญญาณจากเซลสเตชั่นขนาด 200 mW (23 dBm) ใน 3 พื้นที่ คือ บริเวณถนนรัชดาภิเษก สำหรับพื้นที่ชานเมือง บริเวณถนนบางนา-ตราด สำหรับพื้นที่ถนนไฮเวย์ และพื้นที่บนถนนสีลมสำหรับเขตจราจรคับคั่ง โดยการวัดสัญญาณแบบจุดต่อจุด (Point-to-point) โดยเปลี่ยนระยะครั้งละ 10 เมตร การวัดระดับสัญญาณจะใช้เครื่องมือวัดของ NEC รุ่น CP6H3E1-2A ซึ่งผลจากการวัดแสดงในกราฟรูปที่ 4 รูปที่ 5 และรูปที่ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 4 ผลการวัดระดับสัญญาณจากเซลสเตชั่นของระบบ PCT บริเวณถนนรัชดาภิเษก (กม.ที่ 1 ถึง กม.ที่ 3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 ผลการวัดระดับสัญญาณจากเซลสเตชั่นของระบบ PCT บริเวณถนนบางนา - ตราด (กม.ที่ 1 ถึง กม.ที่ 3)

รูปที่ 6 ผลการวัดระดับสัญญาณจากเซลสเตชั่นของระบบ PCT บริเวณถนนสีลม

6. สรุปและวิจารณ์

จากการทดลองติดตั้งเซลสเตชั่นที่มีกำลังส่ง 200 mW ห่างกันประมาณ 300 เมตร บริเวณถนนรัชดาภิเษก ถนนบางนาตราด และติดตั้งเซลสเตชั่นขนาด 20 mW ห่างกันประมาณ 150 เมตร บริเวณถนนสีลม พบว่า ในบริเวณถนนรัชดาภิเษก สัญญาณส่วนใหญ่มีความแรงมากกว่าระดับ 30 dBμV (ระดับสัญญาณที่ใช้ในการเปลี่ยนเซล) และมีเพียงจุดเดียวที่มีสัญญาณต่ำกว่า 40 dBμV ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าที่ CS6 นั้นมีกำลังส่งออกต่ำกว่าปกติ หากทำการเปลี่ยนเซลสเตชั่นที่จุดนี้ก็จะสามารถแก้ปัญหาได้ และจากกราฟยังพบว่า มีการแกว่งของสัญญาณมากพอสมควร ทั้งนี้เนื่องจากสภาพแวดล้อมและการจราจรที่หนาแน่นนั่นเอง

ผลการวัดสัญญาณบริเวณถนนบางนา-ตราด ซึ่งมีสภาพถนนกว้างมากและมีการสร้างทางด่วนที่ใช้คอนกรีตหนามาก ดังนั้นค่าระดับสัญญาณที่วัดได้จากบางเซลจึงเบาบางลงมาก แต่ก็พบว่าสัญญาณส่วนใหญ่จะสูงกว่า 40 dBμV ซึ่งถือว่าได้ผลตามที่คาดไว้ อย่างไรก็ดี การปรับปรุงตำแหน่งของ CS1 ยังมีความจำเป็นอยู่

ผลจากการวัดสัญญาณบริเวณถนนสีลมระดับสัญญาณส่วนใหญ่จะสูงกว่า 30 dBμV โดยมีเพียงจุดเดียวเท่านั้นที่สัญญาณต่ำกว่า 30 dBμV ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าเป็นจุดสี่แยกไฟจราจรที่ไม่สามารถติดตั้งเซลสเตชั่นได้ ระยะทางช่วงนี้จึงมากเกินที่กำหนดไว้ แต่ก็ยังสามารถใช้งานได้อย่างดี และถ้าหากต้องการที่จะแก้ไขให้มีระดับสัญญาณมากกว่า 40 dBμV ก็สามารถทำได้ โดยการใช้สายอากาศที่มีเกนมากขึ้นหรือติดตั้งเซลสเตชั่นเพิ่มขึ้น โดยติดตั้งตามอาคารที่มีตำแหน่งใกล้กับกลางสี่แยกมากที่สุด

จากการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ 3 กับค่าที่วัดได้จริงใน 3 พื้นที่ที่กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นได้ว่า ค่าของการคำนวณและค่าที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ในขณะที่ค่าการเฟดดิ้งของสัญญาณสูงถึง 10 dB ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานอยู่ 2 dB นั่นก็หมายความว่าเราจะต้องปรับปรุงตำแหน่งการติดตั้งเซลสเตชั่นให้ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเรายังสามารถใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นพื้นฐานในการออกแบบเพื่อหาระยะทางที่เหมาะสมสำหรับการวางเซลสเตชั่นได้ โดยสรุปได้ว่า ถ้าใช้เซลสเตชั่นขนาดกำลังส่ง 200 mW จะใช้ระยะห่างระหว่างเซลเป็น 600 เมตร หรือใช้ระยะห่าง 300 เมตร สำหรับการวางเซลแบบ 20 mW แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะมีการวางเซลในลักษณะ 2 แคเรียร์ต่อพื้นที่หรือการเพิ่มเซลอีกเท่าตัว เพื่อเพิ่มปริมาณทราฟฟิคให้สูงขึ้น ระยะทางก็จะลดลงอีกเท่าตัว

เอกสารอ้างอิง

[1] Bell Communication Research (BellCore), "Comparison of Low Power Wireless Access Systems: PACS PHS and DECT for Public Environment", 1996.

[2] Ministry of Posts & Telecommunications (MPT), Japan "Personal Handy-phone System Guidebook", 1995.

[3] Telecom training Department-TT&D, "PCT Network Introduction", Version 3, November 26, 1997.

[4] T. Paungma, M. Sukkasem, "PCT-The New Service for Digital Wireless Communication in Thailand", 20th AIC Conference (Kuala Lumpur), 2-6 March 1998.

[5] S.Sampei, "Application of digital wireless technologies to global wireless communications", Prentice Hall,1997.

[6] T. Okumura, E. Ohmori, and K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile service", Review of Electrical Communication Laboratory, Vol. 16, No. 9-10, pp. 825-73, September-October 1968.

[7] Masaharu HATA, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services", IEEE Trans. on Vehicular Tech., Vol. VT-29, August 1990.

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายธเนศ พัฒนธาดาพงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2538 เข้าศึกษาต่อในปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2539

ปี พ.ศ. 2539 เป็นผู้ช่วยวิจัยโครงการวิจัยเรื่อง "เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่ (KU + C)"

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1. **ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์** พิสิฐ บุญศรีเมือง ถวิล พึ่งมา และ มนูญ สุขเกษม บทความทางวิชาการเรื่อง "การออกแบบการวางเซลสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 12-13 พฤศจิกายน 2541
2. **ธเนศ พัฒนธาดาพงษ์** สุพจน์ องค์สรณะคมกุล และรศ.ดร. ถวิล พึ่งมา บทความทางวิชาการเรื่อง **"การพัฒนาโปรโตคอลที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลแบบเวอร์ชวลแพ็คเก็ต"** การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 22-24 พฤศจิกายน 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้