การออกแบบการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นภายในอาคารของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT

CELL DESIGN FOR INDOOR CELL STATION IN PERSONAL COMMUNICATION TELEPHONE SYSTEM

ทาวร ตันหยงมาศกุล

TAWORN TANYONGMASAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-370-4

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นภายในอาคาร ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT

CELL DESIGN FOR INDOOR CELL STATION IN PERSONAL COMMUNICATION TELEPHONE SYSTEM

ถาวร ตันหยงมาศกุล

TAWORN TANYONGMASAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-370-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 32878
วัน, เดือน, ปี..... 14 มิ.ย. 2542

CELL DESIGN FOR INDOOR CELL STATION IN PERSONAL COMMUNICATION TELEPHONE SYSTEM

TAWORN TANYONGMASAKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
1999

ISBN 974-622-370-4

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของ[illegible] ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือจำหน่ายด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นภายในอาคารของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT
นักศึกษา	นาย ถาวร ตันหยงมาศกุล
รหัสประจำตัว	39061098
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2542
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ถวิล พึ่งมา

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการออกแบบการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นภายในอาคารที่เหมาะสม สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT โดยได้ทำการออกแบบการวางตำแหน่งติดตั้งภายในโดยใช้อาคารภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นสถานที่ทดลองวัดระดับสัญญาณและนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณการลดทอนของสัญญาณโดยใช้โปรแกรม MATLAB Version 5.1.0 โดยอาศัยสมการของการสูญเสียของสัญญาณในอาคารที่ย่านความถี่ 1900 MHz ร่วมกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น กำลังส่งของเซลสเตชั่น (CS : Cell Station) โครงสร้างของอาคาร อัตราขยายของเครื่อง PCT และอัตราขยายของเซลสเตชั่น เพื่อหาการครอบคลุมพื้นที่ของเซล ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้สามารถนำมาใช้ในการทำการออกแบบปรับปรุงตำแหน่งเซลสเตชั่นที่ติดตั้งภายในอาคารเพื่อให้การใช้งานของระบบ PCT มีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถรองรับการใช้งานตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Cell design for indoor cell station in Personal Communication Telephone (PCT) System
Student	Mr. Taworn Tanyongmasakul
Student ID.	39061098
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	1999
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Tawil Pungma

ABSTRACT

This thesis presents the indoor cell station layout for Personal Communication Telephone (PCT) system. The cell station was installed at the Telecommunication building, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for modeling. The comparison of measuring signal level and theoretical signal level were calculated by using MATLAB Version 5.1.0 with focusing on the following factors such as the propagation path loss in the 1900 MHz frequency band, cell station output power, the structure of building, gain of personal station and gain of cell station to find the cell coverage area. This results will be used to design the indoor cell station layout to increase the quality communication of the PCT system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถจัดทำให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็เพราะได้รับความเมตตากรุณาจากท่าน รศ. ดร. ถวิล พึ่งมา และ ท่าน ศ. มนูญ สุขเกษม ที่ได้ให้คำแนะนำผู้วิจัยโดยตลอด ผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านเป็นอย่างมาก และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ ๆ ที่ให้กำลังใจและให้โอกาสบุตรได้รับการศึกษาในระดับต่างๆจนกระทั่งได้สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิตนี้ รวมทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และสั่งสอนให้กับผู้วิจัยทุกระดับชั้น

ขอขอบพระคุณ มูลนิธิเพื่อการสื่อสารและคอมพิวเตอร์ (C&C) ที่ได้มอบทุนการศึกษาให้กับผู้วิจัยในขณะทำการศึกษาอยู่ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ ๆ และน้องๆ ทุกคน ในห้อง T-201 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นกำลังใจและคอยช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุด ความรู้และประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบความดีที่ได้ให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ถาวร ตันหยงมาศกุล

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 ที่มาและเหตุจูงใจในการทำวิจัย 1

1.2 อธิบายปัญหาที่กำลังศึกษาอยู่ของวิทยานิพนธ์ 2

1.3 ทำไมปัญหานี้ถึงน่าสนใจ 2

1.4 หลักการใหม่อะไรที่นำเสนอ 3

1.5 เปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม 3

1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์ 4

บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นของโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล 6

2.1 วิวัฒนาการการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลในอดีตจนถึงปัจจุบัน 6

2.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก 6

2.3 ระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอล 8

2.4 เปรียบเทียบระบบการสื่อสารไร้สายในแบบต่างๆ 28

บทที่ 3 ความรู้เบื้องต้นและทฤษฎีของระบบการสื่อสายไร้สายพกพาส่วนบุคคล PCT 31

3.1 การพัฒนาและความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล PCT 31

3.2 โครงสร้างของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล PCT 33

3.2.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ 34

3.2.2 โครงข่าย PHS 34

3.2.3 โครงข่ายอัจฉริยะ 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล PCT ในโครงข่าย PHS 38

3.3.1 PCT Server 39

3.3.2 ชุมสายดิจิตอลระยะไกล 40

3.3.3 รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำ 40

3.3.4 ระบบบันทึกรายละเอียดของการเรียก 41

3.4 เซลสเตชั่น 42

3.5 เครื่องลูกข่าย 45

3.6 สายอากาศของเซลสเตชั่นระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล PCT 45

3.7 การวางโครงข่าย 47

3.8 กรรมวิธีในการเรียก 48

3.9 ความถี่ที่ใช้สำหรับโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT 49

3.10 การข้ามเซลของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT 49

3.11 การเชื่อมต่อกับโครงข่าย 52

3.12 โครงสร้างของช่องสัญญาณ 53

3.13 การพัฒนาระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT ในอนาคตและการบริการรูปแบบใหม่ 55

บทที่ 4 ทฤษฎีการวางเซลสเตชั่นในอาคารของโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล PCT 59

4.1 หลักการแพร่กระจายคลื่น 59

4.2 การแพร่กระจายคลื่นในอาคาร 63

4.2.1 การสะท้อนของสัญญาณ 63

4.2.2 การคำนวนระดับสัญญาณในแนวสายตา 66

4.2.3 การคำนวนระดับสัญญาณการสะท้อน 68

4.3 การลดทอนที่เกิดจากการอินเตอร์เฟอร์เร้นท์ของสัญญาณ 69

4.4 การหาการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นในอาคาร 70

4.4.1 วิธีการของ Hata 70

4.4.2 วิธีการของ C.Y .Lee 75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 วิธีการออกแบบการวางตำแหน่งแซลสเตชั่นในอาคารของโทรศัพท์ไร้สาย
ส่วนบุคคล PCT 79
5.1 วิธีการที่ได้ทำการออกแบบขึ้น 80
5.2 การกำหนดค่าแฟคเตอร์ที่ใช้ในคำนวน 81
5.2.1 กำลังส่งของเซลสเตชั่น 81
5.2.2 อัตราขยายของสายอากาศ 82
5.2.3 แฟคเตอร์การลดทอนเนื่องจากผนังอาคารและจากพื้นอาคาร 82
5.3 ผลของการคำนวนโดยใช้โปรแกรม 82
5.4 ผลของการทดสอบในพื้นที่จริง 89
5.5 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวนและผลจากการทดลอง 96
5.6 วิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางเซลสเตชั่นในอาคาร 96

บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 98
6.1 สรุปผลการออกแบบการวางเซลสเตชั่นในอาคาร 98
6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบ 99
6.3 ข้อเสนอแนะ 99

บรรณานุกรม 100

ภาคผนวก ก 102
ภาคผนวก ข 114
ประวัติผู้เขียน 119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติต่างๆของระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอล CT-2	9
2.2 มาตรฐานของระบบ DECT	16
2.3 มาตรฐานของระบบ PACS	22
2.5 แสดงมาตรฐานของการเชื่อมต่อทางอากาศ PHS	26
2.6 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารส่วนบุคคลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ...	29
3.1 การใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT	50
4.1 แสดงการจัดแบ่งรูปแบบต่างๆที่สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมของ Hata	71
4.2 แสดงค่าการลดทอนของแฟคเตอร์ต่างๆ ของ Hata	74
5.1 แสดงค่าการลดทอนของผนังและพื้น	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ลักษณะการทำงานแบบ WLLของโทรศัพท์ระบบ DECT	12
2.2	โครงสร้างของเฟรมในระบบ DECT	14
2.3	โครงสร้างและหลักการทำงานของระบบ DECT	15
2.4	แสดงการแบ่งช่องความถี่ของระบบ DECT	16
2.5	สถาปัตยกรรมของระบบ PACS	19
2.6	แสดงช่องสัญญาณ FDD ในรูปแบบของสัญญาณขาลงของ TDM และ TDMA	20
2.7	โครงสร้างของเฟรมในระบบ PACS	21
2.8	แสดงการใช้โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS แบบติดต่อกันโดยตรงระหว่างเครื่องลูกข่าย	24
2.9	แสดงการใช้โทรศัพท์ PHS ร่วมกับโทรศัพท์พื้นฐานที่บ้านในลักษณะโทรศัพท์ไร้สาย	24
2.10	แสดงการใช้งานโทรศัพท์ PHS ในสำนักงานร่วมกับชุมสายปลายทางแบบไร้สาย	25
2.11	แสดงการติดต่อใช้งานโทรศัพท์ระบบ PHS ภายนอกอาคาร	25
2.12	แสดงการใช้งานโทรศัพท์ PHS ในรูปแบบ WLL	26
2.13	แสดงโครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS	27
2.14	แสดงการเข้ารหัส ADPCM สำหรับเสียงพูด	28
2.15	แสดงการจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD	28
2.16	การเปรียบเทียบระบบสื่อสารต่างๆ	29
3.1	โครงสร้างของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล PCT	33
3.2	โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ	35
3.3	PHS Network	35
3.4	สถาปัตยกรรมของโครงข่ายอัจฉริยะ	37
3.5	ระดับชั้นของโปรโตคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดของสัญญาณควบคุม	38
3.6	การเชื่อมต่อระหว่างชุมสายดิจิตอลระยะไกลกับ PCT เซริฟเวอร์	39
3.7	แสดงส่วนของฮาร์ดแวร์ของ HLR และการตำแหน่งของ HLR	41
3.8	การติดตั้งเซลสเตชั่น	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.9 แสดงประเภทเซลสเตชั่น	44
3.10 เครื่องลูกของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล	44
3.11 แสดงสายอากาศแบบ 2 dBi 4 dBi 7 dBi และ9 dBi	46
3.12 แสดงการครอบคลุมของสายอากาศแต่ละชนิด	46
3.13 รูปแบบการวางเซลสเตชั่นบนถนน	47
3.14 แสดงลักษณะการวางโครงข่าย ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT	48
3.15 แสดงการติดตั้งเซลสเตชั่นภายในอาคาร	48
3.16 แสดงเส้นทางการเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออก	49
3.17 การแฮนด์โอเวอร์	51
3.18 แสดงระดับของสัญญาณที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ข้ามเซลหนึ่งไปอีกเซลหนึ่ง	52
3.19 ลำดับขั้นตอนของการแฮนด์โอเวอร์	52
3.20 วิธีการทำงานโดยใช้หลักการแบบแบ่งเวลา	53
3.21 โครงสร้างของเฟรมในช่องสัญญาณฟิสิกคอล	54
3.22 แสดงการพัฒนาโครงข่าย PCT	56
3.23 แสดงมาตรฐานของช่องสัญญาณสำหรับข้อมูลในระบบ PCT	57
3.24 แสดงโครงข่ายที่ทดลองระบบมัลติมีเดียกับ PCT	57
3.25 แสดงโครงข่ายของการสื่อสารไร้สายสำหรับการให้บริการเฉพาะอย่าง	58
4.1 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิค	61
4.2 แสดงการเกิด Multipath Fading	64
4.3 แสดงการเกิดการสะท้อนของสัญญาณในอาคาร	66
4.4 แสดงรูปแบบการส่งสัญญาณในแนวสายตา	67
4.5 แสดงเฟสสเนลโซน	67
4.6 แสดงการสะท้อนของสัญญาณครั้งเดียวภายในอาคาร	68
4.7 แสดงการสะท้อนของสัญญาณสองครั้งภายในอาคาร	68
4.8 แสดงลักษณะการเกิดอินเตอร์เฟอร์เรนท์ภายในอาคาร	69
4.9 แสดงลักษณะของโซนต่าง ๆ ตามวิธีการของ Hata	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 แสดงลักษณะโครงสร้างของอาคารที่ใช้ในสมการการลดทอนของ Lee	75
5.1 แสดงโฟชาร์ตของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวน	83
5.2 แสดงส่วนของหน้าต่างหลักของโปรแกรม	84
5.3 หน้าต่างที่ใช้กำหนดค่าของอัตราขยายของสายอากาศ	84
5.4 หน้าต่างของการกำหนดค่าการลดทอนของสิ่งกีดขวางต่างๆ	85
5.5 แสดงหน้าต่างที่ใช้กำหนดค่าระยะทางและจำนวนของแฟคเตอร์ต่างๆ	86
5.6 แสดงผลชั้น 1 ของอาคารโทรคมนาคม ที่ได้จากการคำนวนจากสมการ ที่ออกแบบขึ้นโดยใช้โปรแกรม	87
5.7 แสดงผลชั้น 2 ของอาคารโทรคมนาคม ที่ได้จากการคำนวนจากสมการ ที่ออกแบบขึ้นโดยใช้โปรแกรม	88
5.8 แสดงผลชั้น 3 ของอาคารโทรคมนาคม ที่ได้จากการคำนวนจากสมการ ที่ออกแบบขึ้นโดยใช้โปรแกรม.....	89
5.9 แสดงเครื่องวัดระดับสัญญาณ	90
5.10 แสดงแผนผังของห้องทั้ง 3 ชั้นของตึกโทรคมนาคม ภาควิชาโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	91
5.11 แสดงการเกิดอินเตอร์เฟอร์เรนท์	92
5.12 ผลของระดับสัญญาณจากการทดลองในชั้นที่ 1 ของอาคารโทรคมนาคม สจล.	93
5.13 ผลของระดับสัญญาณจากการทดลองในชั้นที่ 2 ของอาคารโทรคมนาคม สจล.	94
5.14 ผลของระดับสัญญาณจากการทดลองในชั้นที่ 3 ของอาคารโทรคมนาคม สจล.	95
5.15 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับสมการต่างๆ	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

PHS : Personal Handy-phone System

DCA : Dynamic Channel Assign

MC : Multi Carrier

ONS : One Number Service

PCT : Personal Communication Telephone

ISDN : Integrated Service Digital Network

DECT : Digital European Cordless Telephone

MAC : Medium Access Control layer

OSI : Open Standard Interconnection

FDMA : Frequency Division Multiple Access

TDMA : Time Division Multiple Access

TDD : Time Division Duplex

AMPS : Advanced Mobile Phone Service

GSM : Global System for Mobile

LAN : Local Area Network

DLC : Data Link Control layer

PABX : Private Automatic Branch Exchange

CTA : Cordless Terminal Adapter

RBS : Radio Base Station

RDU : Radio Distribution Unit

OMS : Operation and Maintenance System

TMN : Telecommunication Management Network

MSK : Minimum Shift Keying

PACS : Personal Advance Cordless System

PSTN : Public Switched Telephone Network

SPC : Store Program Control

IN : Intelligent Network

ADPCM : Adaptive Differential Pulse Code Modulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันต้องยอมรับว่าการติดต่อสื่อสารกันเป็นปัจจัย 6 ของมนุษย์ซึ่งมีความจำเป็นในการดำรงชีวิตอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการติดต่อธุระส่วนตัว หรือธุรกิจการค้าด้านต่างๆ ทั้งที่อยู่ไกลและใกล้ โดยระบบการสื่อสารในประเทศไทยได้มีการพัฒนาตามความต้องการการใช้งานของประชาชน ซึ่งในอดีตประเทศไทยมีเพียงโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะและมีใช้เฉพาะในเมือง แต่ต่อมาเมื่อความเจริญขยายตัวออกไปยังชนบทก็มีการขยายโครงข่ายโทรศัพท์ออกไปเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของประชาชน การสื่อสารแห่งประเทศไทยจึงนำระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ NMT - 450ในช่วงนั้นเองบริษัทเอกชนก็นำเอาโทรศัพท์เคลื่อนที่มาให้บริการ เช่น บริษัท ชินวัตร นำระบบโทรศัพท์โทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM มาให้บริการ บริษัท TAC ก็นำเอาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ AMP 800 มาให้บริการเช่นกัน จนปัจจุบันบริษัทเอกชนได้นำเอาโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบดิจิตอลมาให้บริการและมีการให้บริการเสริมต่างๆมากมาย สำหรับในส่วนของระบบโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะองค์การโทรศัพท์ก็ให้บริษัทเอกชนมาขยายโครงข่ายเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของประชาชนโดยให้ บริษัท TT&T ขยายโครงข่ายในต่างจังหวัดจำนวน 1.6 ล้านเลขหมาย และให้บริษัท TA ขยายโครงข่ายในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล จำนวน 2.2 ล้าน เลขหมาย ซึ่งโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะก็สามารถให้บริการเสริมได้เช่นกัน โดยบริษัท TA ได้นำเอาระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอล PCT ที่มีเลขหมายเดียวกับโทรศัพท์พื้นฐาน มาเป็นบริการเสริม โดยสามารถใช้ได้ในพื้นที่สาธารณะทั่วไป และยังสามารถใช้ได้ในอาคารสำนักงานต่างๆแต่ต้องมีการวางโครงข่ายที่สมบูรณ์

1.1 ที่มาและเหตุจูงใจในการทำวิจัย

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าปัจจุบันประเทศไทยมีการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT (PCT: Personal Communication Telephone) โดยบริษัท เทเลคอมเอเชีย คอร์เปอร์เรชั่น (มหาชน)จำกัด ซึ่งนำเอาเทคโนโลยี PHS ที่ใช้งานในญี่ปุ่นมาพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย โดยให้บริการเลขหมายเดียวกับโทรศัพท์พื้นฐาน (ONS : One Number Service) ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งในบ้าน พื้นที่สาธารณะทั่วไปและในรถยนต์ที่มีความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานในอาคารสำนักงานต่างๆ แต่ต้องมีการติดตั้ง เซลสเตชั่นในอาคารด้วยเนื่องจากเซลของระบบ PCT เป็นแบบไมโครเซลที่มีกำลังส่งต่ำ ถ้าติดตั้งเซลสเตชั่นเฉพาะภายนอกอาคารจะทำให้สัญญาณไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ทุกพื้นที่ในอาคาร

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคารนั้นแตกต่างกับการติดตั้งเซลสเตชั่นนอกอาคารอย่างสิ้นเชิง เนื่องจากสิ่งแวดล้อมในอาคารมีรูปแบบปิดและมีความหนาแน่นของสิ่งกีดขวางคลื่นมาก เช่น ผนังห้อง พื้น และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณอย่างมาก และความถี่ที่ใช้ก็แตกต่างกันโดยภายนอกอาคารใช้ความถี่ในย่าน 1906.250-1915.550 MHz ส่วนในอาคารใช้ความถี่ 1898.150-1905.950 MHz ดังนั้นตำแหน่งของเซลสเตชั่นที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญมากเพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

1.2 อธิบายปัญหาที่กำลังศึกษาอยู่ของวิทยานิพนธ์

ในประเทศไทยระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลที่กำลังจะเปิดให้บริการก็คือระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT โดยลักษณะการใช้งานของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT สามารถให้บริการได้ทั้งพื้นที่สาธารณะทั่วไปและในอาคารสำนักงานต่างๆ โดยลักษณะการใช้งานในอาคารมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ รูปแบบแรกเป็นการติดต่อกันระหว่างเครื่องลูกข่าย (PS:Personal Station) กับเครื่องลูกข่ายภายในอาคารเดียวกันโดยไม่ผ่านเซลสเตชั่น รูปแบบที่สองเป็นการใช้งานในอาคารในลักษณะของโทรศัพท์ไร้สายภายในสำนักงาน โดยเครื่องลูกข่ายส่งสัญญาณผ่านเซลสเตชั่นที่ต่อกับชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัติแบบไร้สาย (WPABX:Wireless Private Automatic Branch Exchance) ในอาคารนั้น เพื่อติดต่อไปยังเครื่องลูกข่ายอื่นในอาคารเดียวกัน ซึ่งเครื่องลูกข่ายทั้งสองต้องอยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของเซลสเตชั่นที่ติดตั้งในอาคาร และรูปแบบสุดท้ายเป็นการติดต่อระหว่างเครื่องลูกข่ายในอาคารกับเครื่องลูกข่ายภายนอกอาคาร โดยที่เครื่องลูกข่ายส่งสัญญาณผ่านเซลสเตชั่นที่ติดตั้งในอาคารซึ่งต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN:Public Switched Telephone Network) ซึ่งเครื่องลูกข่ายต้องอยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของเซลสเตชั่นในอาคารเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการใช้งานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคล PCT จะเต็มรูปแบบ การวางเซลสเตชั่นให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ในอาคารเป็นสิ่งสำคัญมาก ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เรากำลังศึกษาการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางเซลสเตชั่นในอาคาร โดยการวิเคราะห์การลดทอนของสัญญาณและการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณในย่านความถี่ของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT (ความถี่ 1900 MHz)โดยใช้เซลที่มีขนาดกำลังส่ง 10 mW ร่วมกับแฟคเตอร์การลดทอนของสัญญาณต่างๆ ซึ่งจะทำให้การใช้งานของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT นั้นมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.3 ทำไมปัญหานี้ถึงน่าสนใจ

เอกสารนี้ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ

ในการออกแบบการวางเซลสเตชั่นภายในอาคารของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT นั้นมีความยุ่งยากและมีความแตกต่างจากการวางเซลสเตชั่นภายนอกอาคารโดยสิ้นเชิง

เนื่องจากภายในอาคารมีสภาพแวดล้อมแบบปิด และมีแฟคเตอร์ที่เป็นสิ่งกีดขวางทางเดินคลื่นจำนวนมากกล่าวคือจากผนังห้อง พื้นอาคาร ซึ่งค่าการลดทอนเนื่องจากแฟคเตอร์นั้นจะมีค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดกับวัสดุที่ใช้ เช่น พื้นที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังที่ทำด้วยปูนซิเมน ผนังที่ทำด้วยกระดานอัด และผนังที่ทำด้วยกระจก ซึ่งแฟคเตอร์ต่างๆเหล่านี้ทำให้การคาดคะเนการแพร่กระจายคลื่นในอาคารนั้นเป็นเรื่องยาก นอกจากนี้ในการติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคารยังต้องคำนึงถึงการเกิดการรบกวนกันของสัญญาณ(Interference) ระหว่างเซลสเตชั่นในชั้นที่อยู่ติดกัน ดังนั้นการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นในอาคารที่เหมาะทำให้การสื่อสารของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเซลสเตชั่นที่ไม่จำเป็นอีกด้วย

1.4 หลักการใหม่อะไรที่นำเสนอ

หลักการใหม่ที่นำเสนอคือวิธีการหาตำแหน่งติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคารที่เหมาะสม โดยอาศัยสมการการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่ได้ปรับปรุงจากสมการที่มีอยู่เดิม เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย โดยพิจารณาร่วมกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆเช่น กำลังส่งของเซลสเตชั่น อัตราขยายของสายอากาศ แฟคเตอร์การลดทอนเนื่องจากผนังอาคารซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่นำมาทำผนังนั้นและแฟคเตอร์การลดทอนเนื่องจากพื้นอาคาร ซึ่งค่าแฟคเตอร์เหล่านี้ได้จากการทดลองโดยส่งคลื่นจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งแล้วแล้ววัดค่าการสูญเสียนั้น โดยสมการการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่ปรับปรุงนี้สามารถนำมาหาตำแหน่งเซลสเตชั่นที่เหมาะสม เพื่อให้การใช้งานของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลมีประสิทธิภาพมากขึ้นสามารถรองรับการใช้งานตามที่ต้องการ

1.5 เปรียบเทียบกับหลักการที่มีอยู่เดิม

จากการที่ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT เป็นระบบที่พัฒนาจากเทคโนโลยี PHS ที่ใช้งานในประเทศญี่ปุ่นเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย ดังนั้นหลักการการออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคารต้องมีการปรับปรุงให้เหมาะสมกับประเทศไทยด้วยเนื่องจากสภาพแวดล้อมในประเทศญี่ปุ่นกับสภาพแวดล้อมในประเทศไทยมีความแตกต่างกันเช่นชนิดของวัสดุที่ใช้ในการทำอาคาร ลักษณะโครงสร้างของอาคาร ลักษณะภูมิอากาศ ดังนั้นสมการการลดทอนเนื่องจากระยะทางที่มีอยู่เดิมที่ใช้ในการออกแบบติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคารในประเทศญี่ปุ่นจึงต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้เหมาะกับการออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคารของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลที่ใช้งานในประเทศไทยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้ามมิให้ทำซ้ำ ดัดแปลง หรือนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ ยกเว้นการใช้งานเพื่อการศึกษาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 6 บทด้วยกัน กล่าวคือ

บทที่ 1 จะกล่าวถึงเหตจูงใจในการทำวิจัยนี้ วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย ตลอดถึงปัญหาที่น่าสนใจที่ศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ ขอบเขตของการทำวิจัย นอกจากนี้ยังเสนอหลักการใหม่เมื่อเปรียบเทียบกับหลักการเดิม

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงวิวัฒนาการการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุปัน โดยในยุคแรกระบบโทรศัพท์ไร้สายจะเป็นแบบอนาล็อก ซึ่งประสิทธิภาพการใช้ความถี่ ระบบเสียง ลักษณะการใช้งาน ยังไม่สมบูรณ์มากนัก ได้แก่ ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-0 ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-1 ซึ่งต่อมาก็ได้นำระบบโทรศัพท์ไร้สายอนาล็อกมาพัฒนาเป็นระบบดิจิตอล ซึ่งมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุปัน โดยในทวีปยุโรปได้นำระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล DECT (DECT : Digital European Cordless Telephone) มาใช้งาน ส่วนในอเมริกามีระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอลเรียกว่า ระบบ PACS (PACS : Personal Advance Cordless System) สำหรับในเอเชียประเทศญี่ปุ่นก็มีการพัฒนาโทรศัพท์ดิจิตอลเช่นกันคือระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล PHS (PHS : Personal Handy-phone System) ซึ่งระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอลเหล่านี้ทำให้การใช้งานของระบบสื่อสารมีความสมบูรณ์มากขึ้น นอกจากนี้ยังกล่าวถึงการเปรียบเทียบระบบสื่อสารต่างๆทำให้เห็นลักษณะเฉพาะของระบบต่างๆได้ชัดเจนยิ่งขึ้นซึ่งสามารถเลือกใช้งานได้ตามต้องการ

บทที่ 3 ในบทนี้กล่าวถึงโครงสร้าง ส่วนประกอบต่างๆ และการพัฒนาของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT (PCT : Personal Communication Telephone) ซึ่งเป็นระบบสื่อสารไร้สายดิจิตอลที่พัฒนามาจากระบบ PHS (PHS : Personal Handy-Phone System) ที่ใช้งานในญี่ปุ่น โดยเป็นระบบที่นำมาใช้งานในประเทศไทยล่าสุด ซึ่งเป็นบริการเสริมของโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะในปัจจุบัน

บทที่ 4 เป็นทฤษฎีการวางเซลสเตชั่นในอาคารของระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล PCT โดยกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของการแพร่กระจายคลื่นซึ่งนำมาเป็นพื้นฐานในการออกแบบวิธีการวางเซลสเตชั่นและวิธีการหาการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นในอาคารของ HATA และ C.Y. Lee ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย

บทที่ 5 เป็นการออกแบบการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นในอาคารของระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล PCT ซึ่งผู้เขียนได้ออกแบบวิธีการขึ้นให้เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย โดยทำการใช้สมการที่ออกแบบขึ้นมาคำนวนจากโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อให้ง่ายแก่การใช้งานและนำมาผลที่ได้นำมาเปรียบเทียบกับการวัดระดับสัญญาณในพื้นที่จริงทำจะเห็นได้ว่าวิธีการที่ออกแบบขึ้นสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผล และข้อเสนอแนะต่างๆรวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบการวางเซลสเตชั่นในอาคารของระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล PCT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นของโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล

2.1 วิวัฒนาการการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลในอดีตจนถึงปัจจุบัน

ระบบสื่อสารไร้สายมี 2 แบบคือ ระบบการสื่อสารไร้สายแบบดิจิตอล และแบบอนาล็อก โดยที่พื้นที่ครอบคลุมของเซลจะมีขนาดเล็กกว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมทั้งเครื่องลูกข่ายก็มีขนาดที่เล็กลง เพื่อสะดวกในการพกพา ซึ่งตัวอย่างของระบบสื่อสารที่ใช้เทคโนโลยีของเซลขนาดเล็ก ในระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก ก็คือ ระบบโทรศัพท์ไร้สาย (Cordless telephone system) ที่ใช้กันตามบ้านโดยจะมีพื้นที่ให้บริการอยู่ในรัศมี 100 เมตร และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานโทรศัพท์ไร้สายให้สามารถใช้งานได้ภายนอกตัวอาคาร สำนักงาน จึงได้มีการนำเทคโนโลยีของการส่งสัญญาณในระบบดิจิตอลมาใช้

หลังจากปี ค.ศ. 1980 ได้เริ่มมีการใช้งานโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอลอย่างกันแพร่หลาย ในช่วงแรกๆถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ให้บริการที่สามารถให้บริการภายในตัวอาคาร บ้าน สำนักงาน หรือภายนอกอาคาร เช่น สถานีรถไฟ เป็นต้น แต่ด้วยคุณภาพของการใช้งานที่เทียบเท่าโทรศัพท์ที่มีสาย จึงได้มีการนำเทคนิคการใช้เซลขนาดเล็กมาใช้ เพื่อขยายพื้นที่การให้บริการ และพัฒนาไปสู่ระบบการสื่อสารส่วนบุคคล โดยตัวอย่างของโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอลที่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ระบบโทรศัพท์ไร้สายที่พัฒนาขึ้นจากโซนยุโรป ได้แก่ ระบบ DECT ส่วนในอเมริกาก็มีระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอลที่เรียกว่า PACS และในเอเชียก็มีระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS เป็นต้น

2.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก

ในระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกที่มีการใช้งานนั้นมีอยู่ 2 ระบบ คือระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-0 และ ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-1 ซึ่งในช่วงแรกระบบโทรศัพท์ไร้สายทั้งสองได้รับความนิยมไม่มากนักเนื่องจากคุณภาพเสียงไม่คมชัดแต่ในยุคต่อมาก็ได้พัฒนาเป็นโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอลซึ่งในบางระบบก็นำแนวความคิดของระบบโทรศัพท์ทั้งสองมาพัฒนาทำให้การใช้งานมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

2.2.1 ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-0 เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี ค.ศ. 1995 ซึ่งได้รับความนิยมโดยมีผู้ใช้งานมากกว่า 60 ล้านเครื่องในขณะที่ประชากรทั้งหมดของประเทศอเมริกามีจำนวนประมาณ 250 ล้านคน จะเห็นได้ว่าอัตราเฉลี่ยประมาณ 1 เลขหมายต่อ 3-4

คน ซึ่งเป็นอัตราที่ค่อนข้างสูง และยังมีการเติบโตถึง 15 ล้านเครื่องต่อปี โดยระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-0 ในประเทศอเมริกาใช้ความถี่ในย่าน 49.6-50.0 MHz เป็นความถี่ขาขึ้น(Uplink)ซึ่งส่งจากเครื่องโทรศัพท์ไปยังสถานีฐานและใช้ความถี่ 46.6-47.0 MHz เป็นความถี่ขาลง(DownLink) โดยส่งจากสถานีฐานไปยังเครื่องโทรศัพท์ซึ่งมีแบนด์วิดธ์ 400 kHz และจะใช้เทคนิคการมอดูเลททางความถี่ (FM : Frequency Modulation) ซึ่งแต่ละแถบความถี่จะแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณเป็น 10 ช่องๆละ 40 kHz และมีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเป็น 20 kHz โดยที่สถานีฐานสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ในระยะประมาณ 100 เมตร ซึ่งทำให้การใช้งานในอาคาร และสำนักงานต่างๆได้เป็นอย่างดีในพื้นที่นั้นๆ

สำหรับในประเทศญี่ปุ่นก็ได้มีการนำโทรศัพท์ไร้สาย CT-0 มาใช้งานในปีเดียวกันซึ่งก็ได้รับความนิยมอย่างมากโดยมีผู้ใช้งานถึง 20 ล้านเครื่องในปีแรกและมีการขายเพิ่ม 4 ล้านเครื่องในทุก ๆ ปี โดยใช้ย่านความถี่ 254 MHz เป็นความถี่ขาลงและใช้ย่านความถี่ 380 MHz เป็นความถี่ขาขึ้น โดยจะแบ่งเป็น 89 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณมีแบนด์วิดธ์ 12.5 kHz และใช้เทคนิคการมอดูเลทเสียงเป็นแบบทางความถี่ ส่วนสถานีฐานนั้นจะมีส่งกำลัง 10 mW ซึ่งน้อยมากถ้าเปรียบเทียบกับกำลังส่งของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ในประเทศอังกฤษก็ใช้มาตรฐานโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกระบบ CT-0 โดยเริ่มแรกมีการใช้งาน 4.7 ล้านเครื่องและเพิ่มขึ้นทุกปี ๆละ 3 ล้านเครื่องซึ่งเป็นการเติบโตที่รวดเร็วเนื่องจากในช่วงนั้น ยังไม่มีการพัฒนาระบบโทรศัพท์ระบบดิจิตอลมาใช้งาน โดยการกำหนดมาตรฐานของ MPT 1322 ซึ่งใช้แถบความถี่ขาลงในย่านความถี่ใกล้ 1.7 MHz และใช้แถบความถี่ขาขึ้นในย่าน 47.5 MHz ในแต่ละแถบความถี่จะแบ่งเป็น 8 ช่องสัญญาณ

2.2.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-1

ในยุโรป มีการนำมาตรฐานโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกที่เรียกว่าระบบ CEPT/CT-1 มาใช้ โดยโทรศัพท์ไร้สายในระบบนี้ มีลักษณะทั่วๆ ไปดังนี้ คือ ที่ด้านหนึ่งของผู้พูดโทรศัพท์ เช่น ด้านผู้เรียกหรือด้านผู้ถูกเรียกด้านใดด้านหนึ่ง จะมีเครื่องรับ-ส่งวิทยุโทรศัพท์ 2 ชุด อยู่ทางด้านเดียวกัน คือ ชุดที่ผู้จะใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่เป็น 2 แถบความถี่ โดยในแต่ละแถบความถี่จะประกอบ ด้วยช่องสัญญาณ 40 ช่องสัญญาณ ที่มีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 25 kHz โดยใช้แถบความถี่ขาขึ้นในย่าน 914-915 MHz และแถบความถี่ขาลงในย่าน 959-960 MHz นอกจากนี้ยังได้มีการสำรองช่วงความถี่ไว้ในงานสำหรับรองรับปริมาณการใช้งานในอนาคต โดยมีแถบความถี่ขาขึ้นในย่าน 885-887 MHz และแถบความถี่ขาลงในย่าน 930-932 MHz จำนวน 80 ช่องสัญญาณ เครื่องโทรศัพท์ไร้สายตามมาตรฐาน CEPT/CT-1 นี้ สามารถเลือกใช้ช่องความถี่จากช่องความถี่ทั้งหมด 40 ช่องความถี่ในการใช้งานแต่ละครั้ง จำนวนช่องความถี่ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ได้คุณภาพของเสียงที่ดีกว่า และมีค่าความน่าจะเป็นของการโทรไม่ติด (Blocking probability) ต่ำ จึงทำให้สามารถใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานได้ทั่วไป แม้ในบริเวณที่มีประชากรหนาแน่น เช่น ศูนย์การค้า สถานีขนส่ง โรงแรม หรือสนามบิน เป็นต้น โดยยอดขายรวมของเครื่อง CT1 รวมทั้งรุ่นที่ปรับปรุงขึ้นใหม่มีค่าประมาณ 2.2 ล้านเครื่อง และเพิ่มขึ้นเป็น 2.7 ล้านเครื่องในปี 1996 และยังมีแนวโน้มในการใช้บริการเพิ่มขึ้นอีกมาก

2.3 ระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอล

เนื่องจากระบบโทรศัพท์ไร้สายอนาล็อกมีข้อจำกัดในการให้บริการ เช่น ทั้งทางด้านเสียงที่ไม่คมชัด การส่งข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ และมีพื้นที่ครอบคลุมการให้บริการน้อย รวมถึงขนาดของตัวเครื่องลูกข่ายก็มีขนาดใหญ่ไม่เหมาะสมกับการพกพา และการใช้งานยังไม่สามารถใช้บริการในพื้นที่สาธารณะต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการพัฒนาโทรศัพท์ไร้สายไปสู่ยุคดิจิตอลเพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งการพัฒนานั้นเป็นไปตามมาตรฐานของแต่ละประเทศซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสากลกำหนดโดย สหพันธ์โทรคมนาคมโลก FCC ซึ่งสามารถเป็นมาตรฐานใหญ่ ๆ คือ ในส่วนของยุโรป นั้นมีการพัฒนามาใช้โทรศัพท์ไร้สายดิจิตอล CT-2 CT-3 และ DECT ส่วนในอเมริกาก็ได้มีการพัฒนาระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอลที่เรียกว่า PACS สำหรับในเอเชียประเทศญี่ปุ่นได้พัฒนาระบบโทรศัพท์ระบบดิจิตอล PHS มาใช้งานเช่นกัน

2.3.1 ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-2

ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-2 เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายชนิดแรกที่เป็นดิจิตอลการพัฒนาของ Great Britain ในปี ค.ศ. 1989 โดยออกแบบมาเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานใน 2 ลักษณะคือใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่เป็นเคหสถาน และในออฟฟิค ซึ่งมีลักษณะการให้บริการเป็นพื้นที่ๆ (Telepoint Service)โดยถ้าต้องการให้บริการพื้นที่ไหนก็ทำการวางสถานีฐานในพื้นที่นั้น โดย CT-2 นั้นในงานในยุโรปและแคนนาดาซึ่งในยุโรปใช้ย่านความถี่ 864.15-868.05 MHz สำหรับในแคนนาดาเรียกระบบนี้ว่า CT-2+ ซึ่งใช้ย่านความถี่ 944-948 MHz เพื่อให้เหมาะสมกับการวางแผนการใช้ความถี่ของประเทศแคนนาดา สำหรับเทคนิคอื่น ๆ ระบบ CT-2 และ CT-2+ นั้นใช้เทคนิคเดียวกัน กล่าวคือ ระบบนี้มีแถบความถี่ (Spectrum) 4 เมกะเฮิรตซ์ โดย แบ่งเป็น 40 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องกว้าง 100 kMz จะเห็นได้ว่ามีแถบความถี่ที่กว้างสามารถรองรับทราฟฟิคได้จำนวนมากกว่าระบบอนาล็อก โดยทั้งตัวสถานีฐานและเครื่องลูกข่ายมีการเข้าถึงข้อมูลแบบ TDD ซึ่งเป็นเทคนิคการเข้าถึงข้อมูลแบบดิจิตอล และใช้เทคนิคการมอดูเลทแบบ GFSK โดยกำลังที่ส่งจากสถานีฐานและเครื่องลูกข่ายมีขนาด 10 mW ซึ่งไม่มีฟังก์ชั่นการควบคุมกำลังส่งเหมือนในโทรศัพท์เคลื่อนที่ การส่งโดยการเข้ารหัสแบบ (ADPCM : Adaptive Differential Pulse Code Modulator) ซึ่งมีอัตราเร็ว 32 kbps ซึ่งเป็นเทคนิคการเข้ารหัสเสียงที่มีคุณภาพดี นอกจากนี้เนื่องจากเซลของระบบ CT-2 มีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงทำให้สามารถนำความถี่ไปใช้ในพื้นที่อื่นซึ่งเป็นข้อดีข้อหนึ่งของระบบสื่อสารที่มีเซลขนาดเล็ก ในตารางที่ 2.1 เป็นตารางแสดงคุณสมบัติต่างๆของระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอล CT-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติต่างๆของระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอล CT-2

หัวข้อ	รายละเอียด
ย่านความถี่	CT-2 864.15-868.05 MHz CT-2+ 944 - 948 MHz
ความกว้างของแถบความถี่ที่ใช้งาน	4 MHz
ประสิทธิภาพในการใช้ความถี่	สูง
จำนวนการมัลติเพล็กซ์	1 ch, 100 kHz
จำนวนช่องสัญญาณ	40 ช่องสัญญาณ
ลักษณะการทำงาน	FDMA/TDD
การเข้ารหัสและการถอดรหัสสัญญาณเสียง	32 kbps ADPCM
เทคนิคการผสมสัญญาณ	GMSK/DFSK
สมรรถนะการใช้ความถี่	100 kHz , 1ch (100 kHz/ch)
ความเร็วในการส่งข้อมูล	72 kbps
กำลังงานเอาท์พุทของ CS	5mW Average (10mW)
กำลังงานเอาท์พุทของ PS	5mW Average (10mW)
การจัดช่องสัญญาณ	แบบ Dynamic จัดความถี่แบบอัตโนมัติ
รัศมีคลื่นวิทยุ	50-150 m
การเคลื่อนที่	อยู่กับที่
รูปแบบการติดต่อ	แบบทางเดียว (เฉพาะโทรออก)
ความสามารถในการขยายแถบความถี่	สามารถขยายแถบความถี่ออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติต่างๆของระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอล CT-2 (ต่อ)

หัวข้อ	รายละเอียด
ปีที่วางมาตรฐาน	1989
ปีที่ให้บริการสาธารณะ	ใช้ในไทยแล้ว (โฟนพ้อยท์)
ผู้ผลิต	Motorola
การประเมินผล	1.ไม่สะดวกในการใช้งานเพราะโทรออกได้อย่างเดียว 2. ความถี่ขยายออกไปไม่ได้

สำหรับรูปแบบการใช้งานของระบบ CT-2 นี้จะมีลักษณะโทรออกได้อย่างเดียว เนื่องจากจุดประสงค์ของการพัฒนาระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอล CT-2 ที่สำคัญเพื่อให้บริการในลักษณะเดียวกับโทรศัพท์สาธารณะซึ่งโดยปกติใช้เพียงเรียกออกในบริเวณชุมชนต่างๆ แต่อย่างไรก็ตามได้มีการพัฒนานำระบบเรียกตามตัวมาใช้หรือที่เรียกว่า Paging โดยระบบดังกล่าวมีลักษณะเรียกเข้าเพียงอย่างเดียวโดยไม่สามารถพูดโต้ตอบกันได้ ดั้งนั้นเมื่อนำระบบ Paging มาใช้คู่กับระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-2 จะทำให้การติดต่อสื่อสารเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น สำหรับประเทศไทยได้มีการนำระบบ CT-2 มาใช้งานใน ปี พ.ศ. 2535 โดยบริษัท UCOM ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า โฟนพ้อยท์ แต่ไม่ประสพความสำเร็จเท่าที่ควร จึงได้ยกเลิกการให้บริการในปีต่อมา

2.3.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-3

ในปี ค.ศ. 1991 ได้มีการพัฒนาระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอลยุคที่ 3 ที่เรียกว่า ระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอล CT-3 มีลักษณะเป็นเครื่อข่ายไร้สาย สามารถสื่อสารได้ 2 ทาง โดยผู้ถือเครื่องลูกข่ายสามารถเรียกออกหรือรับการเรียกเข้าได้โดยต้องอยู่บริเวณที่มีการติดตั้งเครือข่ายของระบบ CT-3 ซึ่งมีส่วนประกอบ 3 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นศูนย์ควบคุม (Control Unit) ซึ่งเป็นส่วนที่ติดตั้งอยู่กับที่มีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานต่างๆของระบบ โดยปกติศูนย์ควบคุมจะเป็นตัวเองระหว่างตู้สาขาโทรศัพท์ (PABX) ของหน่วยงานที่ติดตั้งระบบ CT-3 กับสถานีฐาน การเรียกออกหรือการเรียกเข้าจะต้องผ่านศูนย์ควบคุมนี้ตลอด ส่วนที่สอง สถานีฐานของแต่ละเซลซึ่งติดตั้งอยู่กับที่เช่นเดียวกัน โดยจำนวนของสถานีฐานขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้งานในบริเวณนั้นๆ ส่วนสุดท้าย เป็นเครื่องลูกข่ายคือชุดโทรศัพท์ไร้สายที่ผู้ใช้พกติดตัวไป โดยการเข้ารหัสเสียงจะใช้เทคนิค ADPCM ซึ่งมีความเร็ว 32 kbps ตามมาตรฐาน CCITT ที่ G.721 มีความกว้างของช่องสัญญาณวิทยุ 1 MHz โดยแบ่งเป็น 8 ช่องสัญญาณ และใน 1 เฟรมข้อมูลมี 16 ไทร์มสล็อต ใช้เวลาในการส่ง 16 ms ต่อเฟรมข้อมูล สำหรับการส่งคลื่นวิทยุระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่ายเป็นแบบหลายความถี่ MC (Multi Carrier)และการเข้าถึงข้อมูลเป็นแบบ (TDMA : Time Division Multiple Access) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นดิจิตอลทำให้ไม่เกิดความผิดพลาดของข้อมูล โดยสามารถพูดสวนกันได้ (Full Duplex) ในแบบ (TDD : Time Division Duplex) และลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือการกำหนดช่องสัญญาณแบบ (DCA : Dynamic Channel Assign) ซึ่งเป็นการกระจายช่องสัญญาณว่างทำให้สามารถใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน(Timeslot เดียวกัน ความถี่เดียวกัน) ในการเรียกคนละรายที่เกิดขึ้นในบริเวณเซลข้างเคียงโดยไม่เกิดการรบกวน ในประเทศไทยมีการนำระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอล CT-3 มาให้บริการเช่นกัน โดยมีบริษัทเอกชน และโรงพยาบาลใหญ่ๆ บางแห่ง โดยสามารถมีจำนวนสถานีฐานได้สูงสุด 30 สถานีและเครื่องลูกข่ายไม่เกิน 150 เครื่อง ต่อหนึ่งระบบ CT-3 ด้วยเหตุข้อจำกัดการใช้งานนี้ ระบบ CT-3 จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมเท่าที่ควรดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบโทรศัพท์ดิจิตอลไปสู่ยุคของ DECT

2.3.3 ระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล DECT

ในเดือนกรกฎาคมปี 1992 มีการพัฒนาระบบโทรศัพท์ไร้สาย DECT โดยสถาบันมาตรฐานโทรคมนาคมของยุโรป (ETSI : European Telecommunication Standards Institute) ซึ่งเป็นสถาบันที่กำกับคุณสมบัติของระบบการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communication System)ในยุโรป ซึ่งการพัฒนา ระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล DECT จะนำมาใช้ในอนาคต เพื่อให้บริการได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งเสียง ข้อมูล และภาพ ในรูปแบบของระบบมัลติมีเดีย และมีการพัฒนาโครงข่ายให้เป็นรูปเซลที่มีขนาดเล็กมาก (นาโนเซล) อันจะเป็นประโยชน์ในการใช้งานได้ในสำนักงานทั่วๆ ไป โดยไม่มีสัญญาณรบกวนกระจายออกไปภายนอกมากนัก และผู้ใช้งานสามารถวางเซลได้ด้วยตัวเอง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการวางโครงข่ายภายในอาคารเป็นอย่างมาก

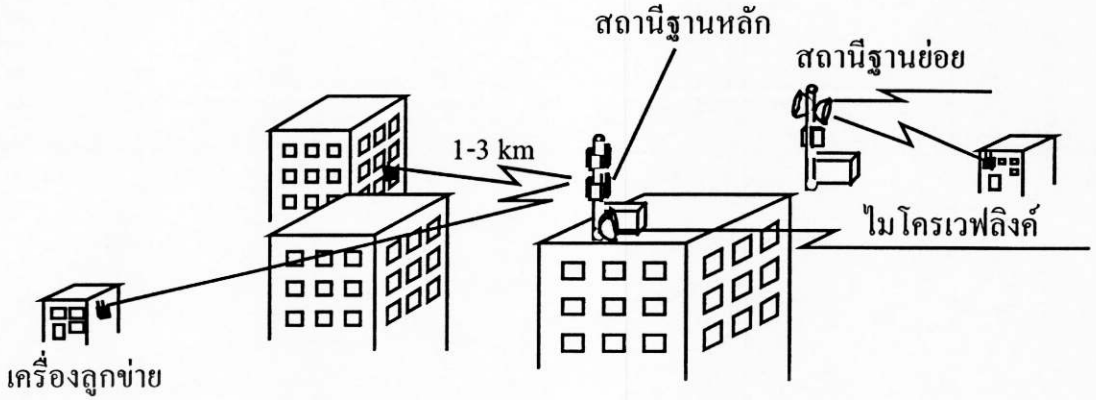
2.3.3.1 ลักษณะการทำงานของระบบ DECT

ระบบ DECT ถูกออกแบบ เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายที่มีความหนาแน่นของทราฟฟิคการใช้งานสูง สำหรับการบริการโทรคมนาคมในขอบเขตที่จำกัด และครอบคลุมการให้บริการอย่างแพร่หลายในสภาวะแวดล้อมต่างๆ โดยระบบ DECT สามารถที่จะให้บริการได้ทั้งเสียงและข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลักการของระบบ DECT ก็คือ

1) การให้บริการในลักษณะของโทรศัพท์พกพา ที่สามารถใช้บริการได้ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งจะมีการทำงานร่วมกับชุมสายปลายทางส่วนบุคคล โดยเนื่องจากระบบ DECT ใช้กำลังส่งและรับต่ำ ดังนั้นจึงมีพื้นที่ครอบคลุมที่จำกัด โดยจะใช้งานได้ในระยะทางประมาณ 50 ถึง 100 เมตรภายในตัวอาคาร และระยะทางประมาณ 500 เมตรสำหรับพื้นที่โล่ง

2) สามารถสร้างโครงข่ายแบบ (WLL : Wireless Local Loop) ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการใช้สายอากาศแบบบีมพิเศษ ทำให้สามารถสื่อสารได้ระยะไกล อาจจะได้ 1-3 กิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เป็นลักษณะการทำงานแบบ WLL ข้อดีตรงจุดนี้จะทำให้ลดการวางโครงข่ายสายลงได้ในพื้นที่ที่วางโครงข่ายสายได้ลำบาก เช่น ข้ามฝั่งแม่น้ำ หรือข้ามถนน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 ลักษณะการทำงานแบบ WLLของโทรศัพท์ระบบ DECT

3) ระบบ DECT มีลักษณะโครงสร้างตามมาตรฐาน OSI (OSI: Open Standard Interconnection) ดังนั้นจึงสามารถใช้บริการร่วมกับโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิตอล หรือโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น ระบบ(GSM : Global System for Mobile)ได้อีกด้วย

2.3.3.2 สถาปัตยกรรมของระบบ DECT

ระบบ DECT จะมีสถาปัตยกรรมตามมาตรฐานในลักษณะเดียวกับโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิตอล โดยมีส่วนควบคุมและส่วนผู้ใช้บริการ จะรับข้อมูลจากฟิสิกคอลเลเยอร์และมีเดียมแอสเซสคอนโทรลเลเยอร์ (MAC : Medium Access Control layer) ซึ่งระบบ DECT สามารถที่ให้บริการได้ถึง 6000 ราย โดยไม่จำเป็นที่จะต้องรู้ว่าผู้ใช้บริการอยู่ที่เซลใด (ไม่มีการระบุตำแหน่งของผู้ใช้บริการ) ซึ่งจะมีโครงสร้างของระบบที่แตกต่างจากมาตรฐานของโทรศัพท์ระบบเซลลูลาร์อื่นๆ เช่นระบบ (AMPS : Advanced Mobile Phone Service) หรือระบบ GSM โดยระบบ DECT จะถูกออกแบบ เพื่อที่จะสามารถใช้งานร่วมกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน หรือโครงข่ายในระบบอื่นๆ เช่นระบบ GSM เป็นต้น เลเยอร์ของระบบ DECT ตามมาตรฐาน OSI จะประกอบไปด้วย

2.3.3.3 ฟิสิกคอลเลเยอร์ (Physical layer)

ในระบบ DECT จะใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแบบแบ่งความถี่ FDMA ร่วมกับเทคนิคการส่งสัญญาณแบบแบ่งเวลา TDMA โดยใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา TDD และใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิก โดยในหนึ่งไทม์สล็อตของ TDMA จะมีการเลือกใช้ช่องสัญญาณเพียงช่องเดียวจากจำนวนทั้งหมด 10 ช่องสัญญาณ ข้อกำหนดคุณลักษณะของฟิสิกคอลเลเยอร์กำหนดว่าช่องสัญญาณจะต้องมีแถบความกว้างเท่ากับ 1.5x1152 kbps ซึ่งจะมีค่าความเร็วในการส่งข้อมูลของช่องสัญญาณเท่ากับ 1.728 MHz ในระบบ DECT ประกอบด้วย 24 ไทม์สล็อตต่อหนึ่งเฟรม และจะแบ่งไทม์สล็อตออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน ส่วนแรกจะใช้ในการส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังตัวเครื่องลูกข่าย ส่วนที่สอง จะใช้ในการส่งสัญญาณจากตัวเครื่องลูกข่ายไปยัง

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีฐาน โดยเฟรมของระบบ DECT จะมีช่วงเวลาเท่ากับ 10 ms โดยหนึ่งไทม์สล็อตจะมีขนาด 480 บิท ประกอบไปด้วยเป็นบิทซิงค์โครไนส์ 32 บิท บิทข้อมูล 388 บิทและบิทควบคุม 60 บิท ในรูปที่ 2.2 จะแสดงโครงสร้างของเฟรมในระบบ DECT โดยชนิดของช่องสัญญาณ ข้อมูลของผู้ใช้บริการในระบบ DECT จะแสดงไว้ในไทม์สล็อตในพื้นที่ B โดยจะมีจำนวนบิทข้อมูลทั้งหมด 320 บิทในแต่ละไทม์สล็อต โดยมีอัตราเร็วในการส่งข้อมูล 32 kbps ต่อผู้ใช้บริการหนึ่งราย ในส่วนนี้จะไม่มีการแก้ไขข้อผิดพลาดแต่มีพาริตี้บิทจำนวน 4 บิท เพื่อใช้สำหรับตรวจสอบความผิดพลาด และในข้อมูลควบคุมของ DECT ในพื้นที่ A มีจำนวน 64 บิทในแต่ละไทม์สล็อตซึ่งจะประกอบไปด้วย บิทตรวจสอบความผิดพลาดแบบหมุนวน CRC (Cyclic Redundancy Check) จำนวน 16 บิท รวมกับบิทข้อมูลควบคุม 48 บิทซึ่งเป็นส่วนของ เฮดเดอร์ 4 บิท และเป็นบิทข้อมูล 40 บิท โดยความเร็วในการส่งผ่านข้อมูลสูงสุดของช่องควบคุมของ DECT คือ 4.8 kbps

2.3.3.4 มีเดียมแอสเซสคอนโทรลเลเยอร์

ประกอบไปด้วย ช่องสัญญาณเรียก (Paging channel) และช่องสัญญาณควบคุม (Control channel) สำหรับถ่ายโอนข้อมูลของสัญญาณไปยังส่วนควบคุมและส่วนผู้ใช้บริการโดยจะมีช่องสัญญาณสำหรับถ่ายโอนข้อมูลของผู้ใช้ (สำหรับการให้บริการ ISDN และบริการเฟรมรีเลย์ หรือเฟรมสวิทชิ่ง) อัตราความเร็วปกติสำหรับช่องสัญญาณของข้อมูลผู้ใช้บริการอยู่ที่ 32 kbps อย่างไรก็ดี ระบบ DECT ยังสามารถให้บริการในอัตราความเร็วนอกเหนือไปจากนี้อีกด้วย เช่น ที่ความเร็ว 64 kbps หรือที่อัตราเร็ว 32 kbps สำหรับการใช้งานในระบบ ISDN และ LAN (Local Area Network) และสามารถทำการแฮนด์ออฟในขณะที่มีการเรียก หรือการกระจายสัญญาณ เพื่อที่ช่วยให้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถหาช่องสัญญาณที่ว่าง และถ่ายโอนข้อมูลจากสถานีฐานเดิมไปยังสถานีฐานใหม่

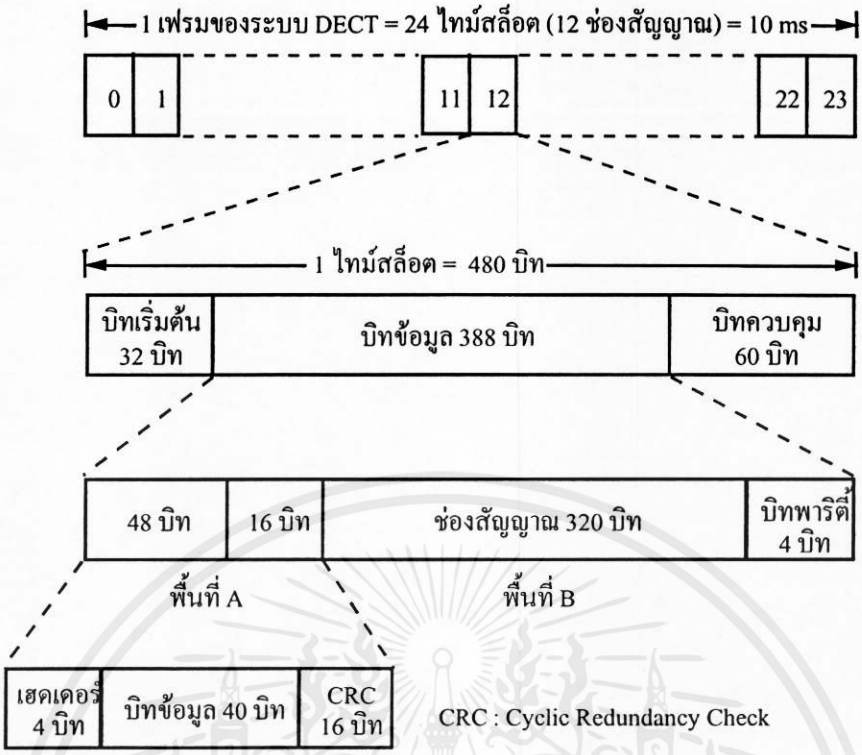
2.3.3.5 ดาต้าลิ้งค์คอนโทรลเลเยอร์ (DLC : Data Link Control layer)

จะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อไปยังเน็ตเวิร์กเลเยอร์ และแบ่งช่องสัญญาณลอจิกคอลและช่องสัญญาณฟิสิกคอลออกเป็นไทม์สล็อต แล้วส่งให้ผู้ใช้บริการแต่ละคน รวมทั้งทำหน้าที่ในการฟอร์แมท ป้องกันและแก้ไขความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในแต่ละไทม์สล็อตอีกด้วย

2.3.3.6 เน็ตเวิร์กเลเยอร์ (Network layer)

เป็นเลเยอร์หลักของระบบสัญญาณในระบบ DECT โดยอาศัยโครงข่ายบริการร่วมแบบดิจิตอลในเลเยอร์ที่ 3 และโปรโตคอลของระบบเซลลูล่าร์ GSM ส่วนของเน็ตเวิร์กเลเยอร์ของระบบ DECT จะทำหน้าที่การควบคุมการเรียก และการบริการสลับวงจรระหว่างชุมสาย ซึ่งเป็นบริการในส่วนของดาต้าลิ้งค์คอนโทรลเลเยอร์ รวมทั้งให้บริการติดต่อข่าวสารเฉพาะกิจและการจัดการการเคลื่อนที่ของตัวเครื่องโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



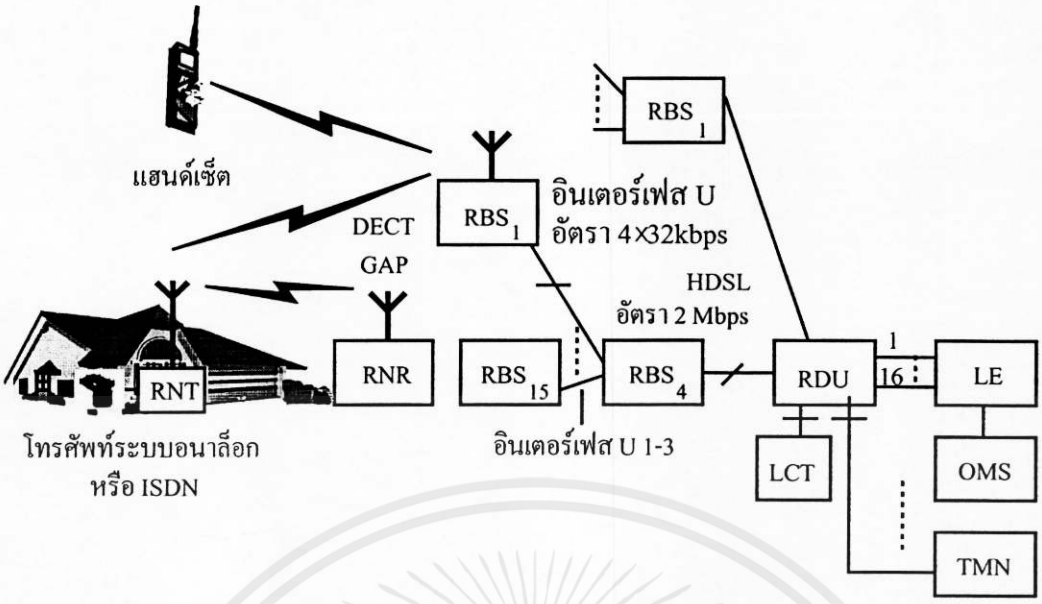
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเฟรมในระบบ DECT

2.3.3.7 โครงสร้างของระบบ DECT

ระบบ DECT เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายที่ใช้เทคโนโลยีของเซลขนาดเล็ก ยกตัวอย่างเช่น ไมโครเซลลูลาร์ หรือ พิโคเซลลูลาร์ ซึ่งสามารถนำมาทำงานร่วมเข้า หรือเชื่อมต่อกับชุมสายปลายทางอัตโนมัติส่วนบุคคล PABX (Private Automatic Branch Exchange) หรือโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ โดยระบบ DECT จะประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆดังรูปที่ 2.3

โดยส่วนแรกเป็นส่วนของเครื่องโทรศัพท์พกพา (PH: Portable Handset) ซึ่งก็คือโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรืออุปกรณ์ปลายทางเคลื่อนที่ ที่เป็นขนาดเท่ามือถือทั่วๆ ไป (มีขนาดใหญ่กว่าระบบ PHS ประมาณเท่าตัว) โดยทางทฤษฎีแล้วจะกำหนดให้ใช้ในการเคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วที่ต่ำมาก คือ ไม่เกิน 8 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากอัตราความเร็วของการส่งข้อมูลมีความเร็วที่สูงมาก จึงทำให้โอกาสที่ข้อมูลเกิดผิดพลาดอันเนื่องมาจากผลของการเฟดดิ้ง (ผลรวมของคลื่นที่สะท้อนมาจากรอบๆ ตัว) มีค่าสูง เมื่อมีการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังประกอบด้วยอุปกรณ์อะแด็ปเตอร์ปลายทางแบบไร้สาย(CTA : Cordless Terminal Adapter) เพื่อใช้สำหรับแฟกซ์ หรือการสื่อสารด้วยภาพเคลื่อนไหว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 โครงสร้างและหลักการทำงานของระบบ DECT

ส่วนที่สองจะเป็นส่วนของสถานีฐานเรียกว่า (RBS : Radio Base Station) ซึ่งมีกำลังส่งขนาด 20 mW ซึ่งครอบคลุมพื้นที่หนึ่งเซลล์ในระบบไมโครเซลลูลาร์ โดยสามารถรับสัญญาณได้ 12 ช่องสัญญาณ โดยสามารถต่อพ่วงขยายออกได้ถึง 3 RBS ต่อหนึ่งกลุ่ม ซึ่งมาตรฐานการอินเตอร์เฟสระหว่างเครื่องลูกข่ายกับสถานีฐานจะใช้เทคนิคการแบ่งเวลาทำให้สามารถติดต่อสื่อสารได้หลายช่องสัญญาณในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะเป็นการอำนวยความสะดวกให้การใช้งานในสถานที่ที่มีประชากรหนาแน่น

ส่วนที่สามจะเป็นส่วนของชุมสาย ซึ่งเรียกกันว่า (RDU : Radio Distribution Unit) ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยชุมสายของ DECT และชุดตรวจสอบบำรุงรักษา (OMS:Operation and Maintenance System) และส่วนของการบริหารโครงข่าย (TMN :Telecommunication Management Network) ตามโครงสร้างโดยรวมของโครงข่าย DECT นั้นค่อนข้างที่จะสมบูรณ์แบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีผู้นิยมใช้กันมากๆ และผู้ผลิตหันมาทำการผลิต DECT ในรูปของ Wireless PABX กันมากขึ้น

2.3.3.8 ระบบสัญญาณของ DECT

ระบบ DECT จะทำงานในย่านความถี่ 1880 MHz ถึง 1900 MHz โดยจะแบ่งแถบความถี่ออกเป็น 10 ช่องสัญญาณตั้งแต่ความถี่ย่าน 1881.792 MHz จนถึง 1897.344 MHz โดยมีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 1728 kHz ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เมื่อรวมความถี่ของการ์ดแบนด์ (Guard band) จะต้องใช้ความกว้างของแถบความถี่ถึง 2 MHz ดังนั้นความถี่ของ DECT ที่มีแถบความกว้างทั้งหมด 20 MHz ซึ่งใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบ่งช่องสัญญาณเสียงออกเป็น 12 ช่องสัญญาณ ทำให้ช่องสัญญาณรวมของระบบ DECT นั้นทั้งหมดมี 120 ช่องสัญญาณ เมื่อเทียบกับระบบ PHS ซึ่งมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณได้ถึง 70x4 หรือ 280 ช่องสัญญาณ ดังนั้นระบบ DECT จึงมีความเสียเปรียบระบบอื่น เนื่องจากระบบ DECT จะใช้เทคนิคของช่องสัญญาณหลายความถี่ เทคนิคการทำงานแบบแบ่งเวลา (TDMA/TDD) โดยแต่ละสถานีฐานจะมีโครงสร้างของ เฟรม และจะใช้ไทม์สล็อตใดก็ได้ในช่องสัญญาณ DECT ดังนั้นสถานีฐานของ DECT จึงสามารถให้บริการ FDMA ด้วยเทคนิค TDMA/TDD เมื่อมีช่องสัญญาณที่ไม่สามารถให้บริการได้ภายในสถานีฐานของระบบ DECT ช่องสัญญาณทั้งหมด 120 ช่องสัญญาณในแถบความถี่ของ DECT จะมีการใช้เทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ โดยในแต่ละไทม์สล็อตจะมีการจัดสรรให้นำไปใช้ต่างช่องสัญญาณกันเพื่อที่จะได้ใช้ประโยชน์จากการใช้งานแบบกระโดดเปลี่ยนความถี่ต่อเนื่อง (Continuous frequency hopping) และเพื่อที่ลดการเกิดสัญญาณรบกวน หรืออินเตอร์เฟอร์เร้นท์ อันเนื่องมาจากผู้ใช้บริการรายอื่นอีกด้วย

รูปที่ 2.4 แสดงการแบ่งช่องความถี่ของระบบ DECT

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานของระบบ DECT

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	1880-1900 MHz
จำนวนช่องสัญญาณ	10
แถบความถี่ของช่องสัญญาณ	20 MHz
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	1728 kHz
เทคนิคการทำงาน	FDMA/TDMA
เทคนิคการดูเพล็กซ์	TDD
ประสิทธิภาพในการใช้ความถี่	50 Erlangs/km^2/MHz
ชนิดของการมอดูเลท	GMSK (BT=3) 2 ระดับ
กำลังงานส่งเฉลี่ย	10 mW
ช่วงเวลาของเฟรม	10 ms
ความเร็วในการส่งข้อมูล	1152 kbps

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานของระบบ DECT (ต่อ)

รายละเอียด	มาตรฐาน
ความเร็วของช่องสัญญาณควบคุม	6.2 kbps
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM ที่อัตรา 32 kbps
การจัดสรรช่องสัญญาณ	ไดนามิก
จำนวนช่องสัญญาณ/คลื่นพาหะ	12
การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	CRC
ระยะเวลาของเฟรม	2 ms

ในระบบ DECT นี้ ยังเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอลแบบหนึ่งโดยใช้เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณของ ADPCM เป็นไปตามมาตรฐานของ CCITT G.721 ซึ่งทำให้เสียงพูดที่เป็นอนาล็อกจะถูกทำให้เป็นสัญญาณดิจิตอลโดยใช้การแซมปลิ้งในอัตรา 8 kHz และความสามารถส่งสัญญาณเสียงที่มีความเร็วของสัญญาณถึง 32 kb/s จึงทำให้การสนทนามีความชัดเจนใกล้เคียงกับโทรศัพท์ใช้สาย นอกจากนี้ระบบ DECT ใช้การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิก ดังนั้นจึงมีการหาช่องสัญญาณที่ว่างได้โดยอัตโนมัติ DECT สำหรับเทคนิคการมอดูเลท DECT ใช้เทคนิคการมอดูเลทสัญญาณแบบ GMSK โดยมีการเลื่อนเฟสของสัญญาณน้อยที่สุด (MSK : Minimum Shift Keying) ซึ่งเป็นรูปแบบลักษณะหนึ่งของการมอดูเลทแบบ FSK ซึ่งการเปลี่ยนแปลงทางเฟสอย่างต่อเนื่อง ก่อนที่จะมีการมอดูเลท สัญญาณจะถูกกรองโดยใช้วงจรกรองสัญญาณแบบเก๊าส์ สำหรับสายอากาศไดเวอร์ซิตี้ ที่เครื่องรับสัญญาณของสถานีฐานในระบบ DECT จะใช้สายอากาศแบบไดเวอร์ซิตี้ หรือสายอากาศแบบ 2 ทิศทาง และจะทำการเลือกใช้สายอากาศในทิศทางที่ให้สัญญาณที่ดีที่สุด ซึ่งอาจจะเลือกจากการวัดค่าระดับความแรงของสัญญาณ หรือโดยการวัดคุณภาพของสัญญาณที่ได้รับ (เช่น พิจารณาสัญญาณรบกวน หรือ BER) โดยสายอากาศไดเวอร์ซิตี้จะช่วยแก้ปัญหาปรากฏการณ์การจางหายสัญญาณ หรือการแทรกสอดของสัญญาณได้ แต่ที่ตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะไม่มีการใช้สายอากาศไดเวอร์ซิตี้

2.3.4 ระบบ PACS (PACS :Personal Advance Cordless System)

PACS เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลรุ่นที่สาม ที่พัฒนาขึ้นในปี 1995 โดย เบลล์คอร์ โดยเป็นความร่วมมือระหว่าง WACS (WACS: Wireless Access Communication System) ประเทศสหรัฐอเมริกา กับมาตรฐานของ (JTC: Joint Technic Committee) โดยระบบ PACS จะสามารถให้บริการได้ทั้ง เสียง ข้อมูล และภาพเคลื่อนไหว โดยใช้เทคโนโลยีของเซลขนาดเล็ก หรือไมโครเซลล์ ซึ่งจะมีพื้นที่ครอบคลุมการบริการในรัศมี 500 เมตร วัตถุประสงค์หลักของมาตรฐานของระบบ PACS คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32878

- ต้องการรวมระบบการสื่อสารแบบไร้สายทุกชนิดเป็นระบบเดียว หรือที่เรียกกันว่าระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (PCS : Personal Communication System) โดยให้มีฟังก์ชั่นการทำงานเปรียบได้กับโทรศัพท์ที่มีสาย
-สามารถใช้งานภายในอาคารหรือในลักษณะที่วางสถานีฐานเป็นโครงข่ายภายในอาคาร โดยเป็นการใช้งานร่วมกับชุมสายปลายทางแบบไร้สาย : Wireless PABX
- สามารถใช้งานในรถที่มีความเร็วปานกลาง
-ใช้งานในลักษณะWireless local loop
- ใช้กำลังส่งต่ำ ซึ่งสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้น้อย

หลังจากที่ (FCC : Federal Communication Commission) ได้มีการอนุญาตให้ใช้ความถี่ในย่าน PCS จึงได้ปรับเปลี่ยนมาตรฐาน WACS โดยการนำเอาระบบ WACS มารวมกับระบบ PHS แล้วใช้ชื่อใหม่ว่า PACS โดยมาตรฐานเดิมของ WACS จะใช้เทคนิคการทำงานแบบ FDMA/TDMA แบ่งช่องสัญญาณเป็น 10 ช่องสัญญาณ และมีช่วงเวลาของเฟรมเป็น 2 ms อัตราความเร็วข้อมูลของช่องสัญญาณที่ 500 kbps ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 300 kHz และใช้เทคนิคการมอดูเลทแบบ QPSK ส่วนในระบบ PACS นั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในส่วนที่เกี่ยวกับ แถบความกว้างของช่องสัญญาณ อัตราความเร็วข้อมูล จำนวนไทม์สล็อตต่อเฟรม และช่วงเวลาของเฟรม รวมทั้งเปลี่ยนมาใช้เทคนิคการมอดูเลทสัญญาณแบบ $\pi/4$ DQPSK

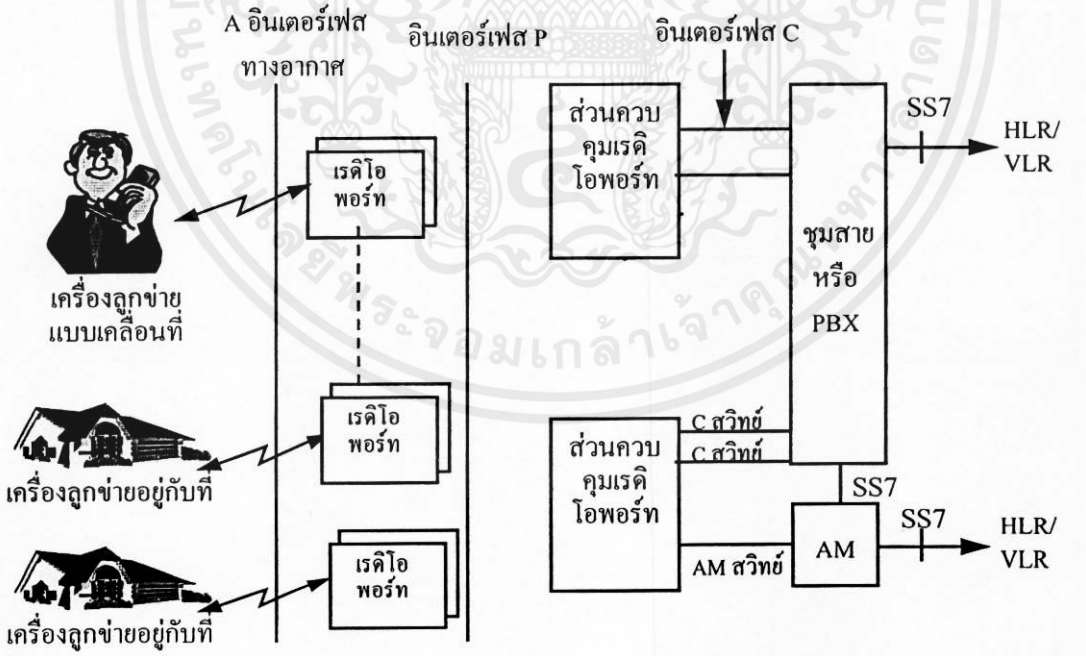
2.3.4.1 สถาปัตยกรรมของระบบ PACS

รูปที่ 2.5 แสดงสถาปัตยกรรมของระบบ PACS ซึ่งจะเห็นว่าประกอบไปด้วย 4 ส่วนใหญ่ คือส่วนแรกเป็นเครื่องลูกข่ายของ PACS (SU: Subsciber Unit) ซึ่งอาจอยู่ในอาคาร สำนักงานหรือเคลื่อนที่ แต่ต้องมีความเร็วไม่มากนัก ส่วนที่ 2 คือ ส่วนของเรดิโอพอร์ท (RP : Radio Ports) หรือส่วนของสถานีฐานซึ่งเป็นส่วนที่ติดต่อทางอากาศ (Air Interface)กับเครื่องลูกข่าย โดยจะวางอยู่บริเวณที่ต้องการให้บริการ ส่วนที่ 3 เป็นส่วนอุปกรณ์ควบคุมเรดิโอพอร์ท (RPCU : Radio Port Control Unit) ซึ่งเป็นศูนย์ควบคุมการทำงานของส่วนของ ช่องสัญญาณ รูปแบบของเฟรมข้อมูล และการบริหารการใช้ความถี่ การมัลติเพล็กและควบคุมกำลังส่ง ส่วนสุดท้าย เป็นอุปกรณ์การจัดการเชื่อมต่อ (AM : Access Manager) กับส่วนข้อมูลผู้ใช้บริการของระบบ โดยในแต่ละช่วงใช้มาตรฐานการอินเตอร์เฟสที่ต่างกันคือ ส่วนที่เชื่อมต่อส่วนระหว่างส่วนของตัวเครื่องโทรศัพท์กับส่วนเรดิโอพอร์ทใช้ A อินเตอร์เฟสทางอากาศ และอินเตอร์เฟส P จะเป็นมาตรฐานโปรโตคอลที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างตัวเครื่องโทรศัพท์ผ่านเรดิโอพอร์ทไปยังส่วนของอุปกรณ์ควบคุมเรดิโอพอร์ท และส่วนของอินเตอร์เฟส C เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างส่วนควบคุมเรดิโอพอร์ทกับชุมสาย

เอกสารนี้ไม่ว่าจะมีการใช้งานทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.2 การอินเตอร์เฟสทางอากาศ (Air Interface)

การกำหนดความถี่ที่ใช้ของระบบ PACS เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายที่พัฒนาขึ้น โดยทำงานในย่านความถี่ของระบบการสื่อสารส่วนบุคคลที่ได้รับอนุญาตจากองค์กร FCC (FCC : Federal Communication Commission) โดยให้ใช้แถบความถี่ขาขึ้นอยู่ในย่าน 1850-1910 MHz และแถบความถี่ขาลงอยู่ในย่าน 1930-1990 MHz ระยะห่างระหว่างความถี่ขาขึ้นกับความถี่ขาลงเท่ากับ 80 MHz และมีระยะห่างแถบความถี่ของช่องสัญญาณ 288 kHz โดยใช้เทคนิคการดูเพล็กเซอร์เป็นแบบแบ่งความถี่ (FDD:Frequency Division Duplex)เมื่อใช้งานภายนอกอาคารในลักษณะที่วางสถานีฐานเป็นโครงข่ายสาธารณะและจะมีการทำงานแบบ TDD เมื่อใช้งานภายในอาคารหรือในลักษณะที่วางสถานีฐานเป็นโครงข่ายภายในอาคาร (ใช้ชุมสายปลายทางแบบไร้สาย Wireless PABX) ดังนั้นการวางสถานีฐานภายนอกอาคารจะต้องใช้ความถี่ 2 แถบความถี่ แถบความถี่แรกใช้สำหรับการส่งสัญญาณจากตัวลูกไปยังสถานีฐาน และแถบความถี่ที่สองจะใช้สำหรับส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังตัวลูก ซึ่งการจัดความถี่ในลักษณะนี้จะเป็นการจัดความถี่ในลักษณะเดียวกับระบบโทรศัพท์มือถือเซลลูล่าร์ทั่วๆ ไป โดยการทำงานในลักษณะนี้เป็นการจัดความถี่ในลักษณะของ Fixed Assign ซึ่งจะต้องใช้วิศวกรที่มีความชำนาญในการจัดวางสถานีฐาน ระบบ PACS จึงจะสามารถมีประสิทธิภาพอย่างสมบูรณ์



AM (Access Manager) - อุปกรณ์จัดการติดต่อ
RPCU (Radio Port Control Unit) - อุปกรณ์ควบคุมเรดิโอพอร์ท
RP (Radio Port) - เรดิโอพอร์ท

รูปที่ 2.5 สถาปัตยกรรมของระบบ PACS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

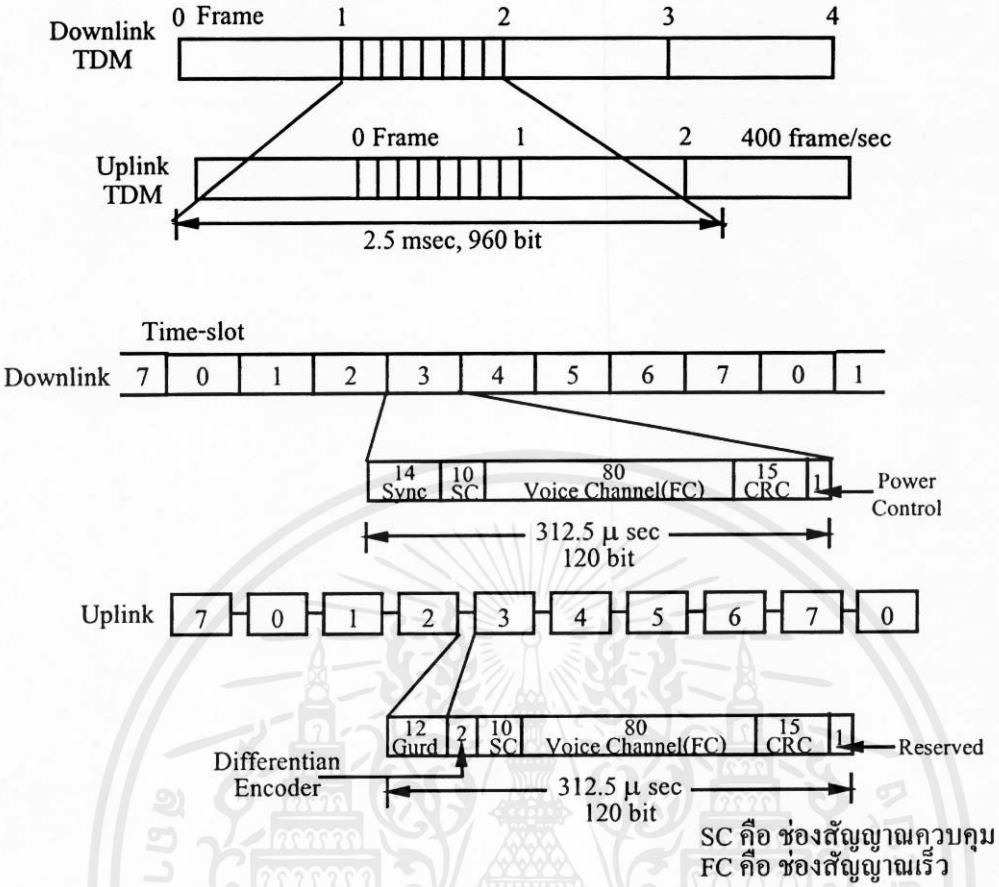
2.3.4.3 กลไกของขบวนการเข้าถึงข้อมูล

กลไกของขบวนการเข้าถึงข้อมูลจะใช้เทคนิคการทำงานแบบแบ่งเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และใช้วิธีการดูเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ แบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 8 ช่องสัญญาณ และมีช่วงเวลาของเฟรม 2.0 ms เมื่อใช้การดูเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ ไทม์สล็อตของช่องสัญญาณรีเวอร์สจะถูกออฟเซ็ตด้วยไทม์สล็อตของ ช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ดด้วยเวลาหนึ่งไทม์สล็อตบวกด้วยเวลา 62.5 μs โดยช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ดจะใช้แถบความถี่ขาขึ้น ส่วนช่องสัญญาณรีเวอร์สจะใช้แถบความถี่ในช่วงขาลง

ระบบ PACS มีโครงสร้างของเฟรมข้อมูลใน 2 รูปแบบคือ ในส่วนของเฟรมข้อมูลขาลงในหนึ่งเฟรมข้อมูลจะมี 960 บิท ซึ่งใช้เวลา 2.5 มิลิวินาที โดยในแต่ละเฟรมข้อมูลจะบรรจุ ไทม์สล็อตไว้ 8 ไทม์สล็อต ซึ่งในแต่ละไทม์สล็อตจะมี 120 บิท โดยใช้เวลา 312.5 ไมโครวินาที โดยแบ่งเป็นส่วนของ ช่องสัญญาณซิงค์ 14 บิท ช่องสัญญาณเสียง 80 บิท โดยมีการเข้ารหัสเสียงแบบ ADPCM ความเร็ว 32 kbps และมีช่องสัญญาณที่ตรวจสอบความผิดพาด 15 บิท ส่วนอีกรูปแบบหนึ่งของเฟรมข้อมูล จะเป็นการส่งข้อมูลขาขึ้น โดยในแต่ละเฟรมข้อมูลจะมี 120 บิทโดยแบ่ง เป็น 8 ไทม์สล็อตเช่นกันแต่ต่างๆกันตรงที่ในแต่ละไทม์สล็อตจะมี 108 บิท ซึ่งน้อยกว่าของเฟรมข้อมูลขาลงโดยเป็นส่วนของช่องสัญญาณตรวจสอบความผิดพลาด 15 บิท ส่วนช่องสัญญาณที่สำรองไว้อีก 1 บิท ช่องสัญญาณป้องกัน 15 บิท อีก 2 บิทสำหรับความต่างกันของการเข้ารหัส และช่องสัญญาณเสียง 80 บิท ส่วนอีก 12 บิทจะเป็นช่องสัญญาณที่ป้องกันในแต่ละไทม์สล็อต 12 บิท ดังแสดงในรูปที่ 2.7

รูปที่ 2.6 แสดงช่องสัญญาณ FDD ในรูปแบบของสัญญาณขาลงของ TDM และ TDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเฟรมในระบบ PACS

2.3.4.4 เทคนิคการมอดูเลท

ระบบ PACS ใช้การผสมคลื่นแบบ π/4-DQPSK และมีจำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิค 7 ช่อง และช่องสัญญาณควบคุม 1 ช่องสัญญาณ ที่มีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเป็น 300 kHz มีจำนวนคลื่นพาหะ 200 ความถี่ ความเร็วในการส่งสัญญาณของคลื่นพาหะเป็น 384 kbps และมีประสิทธิภาพของช่องสัญญาณเป็น 37.5 kHz ต่อช่องสัญญาณ ภายในหนึ่งไทม์สล็อตจะมีขนาด 120 บิท ส่งด้วยช่วงเวลาของเฟรมที่ 2.5 ms เมื่อใช้กับการดูเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา ระยะเวลาออฟเซ็ต ระหว่างช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ดและช่องสัญญาณรีเวอร์สสำหรับผู้ใช้แต่ละคนนั้น จะมีค่าเท่ากับสองไทม์สล็อต (625 μs) พอดี

2.3.4.5 การเข้ารหัสสัญญาณเสียง

มีการเข้ารหัสสัญญาณเสียงด้วยเทคนิค ADPCM ที่อัตราเร็ว 32 kbps โดยเทคนิค ADPCM จะเป็นเทคนิคที่ไม่ซับซ้อน ดังนั้นจึงเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย รวมทั้งยังเป็นการเข้ารหัสสัญญาณเสียงในระบบดิจิตอล จึงทำให้มีความเป็นส่วนตัวสูง และปลอดภัยในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานของระบบ PACS

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	1850-1910 MHz(Uplink) 1930-1990 MHz (Downlink)
วิธีการดูเพล็กซ์	TDMA/FDD
CS Tx กำลังงานเฉลี่ย (พีค)	800 mW
PS Tx กำลังงานเฉลี่ย (พีค)	25 mW
ชนิดการมอดูเลท	π/4-DQPSK
จำนวนการมัลติเพล็กซ์	8
จำนวนของ RF	200
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	300 kHz
การวางแผนความถี่	คงที่หรือ QSAEA
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM ที่อัตรา 32 kbps
รัศมีคลื่นวิทยุ	300-500 เมตร
แถบความถี่ของช่องสัญญาณ	120 MHz
การใช้งาน	รถยนต์ความเร็วต่ำ
ช่วงเวลาของเฟรม	2.5 ms
ความเร็วในการส่งข้อมูล	384 kbps
ฟังก์ชั่นเพจจิ้ง	มีทั้ง Calling และ เพจจิ้ง
ประสิทธิภาพคลื่นวิทยุ	300 kHz , 4 ch (75 kHz /ch)
การขยาย carrier	จำกัด (FDD)
บิทผิดพลาด	น้อยกว่า 10^{-2}
การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	CRC
ความล่าช้าของเสียง	น้อยกว่า 50 ms

2.3.4.6 ช่องสัญญาณระบบ PACS

ช่องสัญญาณที่ใช้ในการกระจายข่าวสารของระบบ SBC (SBC : System Broadcasting Channels) อยู่ด้วย ซึ่งจะใช้บนช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ด ในการกระจายข้อมูลของการเรียกด้วยอัตราเร็ว 32 kbps สำหรับรองรับข้อมูลข่าวสารของผู้ใช้บริการที่สามารถเพิ่มขึ้นได้ถึง 80,000 ราย นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยช่องสัญญาณในการซิงค์โครไนซ์ และช่องสัญญาณช้า (SC : Slow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Channel) ซึ่งจะใช้บนช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ด เพื่อทำการซิงค์โครไนซ์ตัวเครื่องโทรศัพท์ของผู้ใช้บริการแต่ละเครื่อง ส่วนข้อมูลของผู้ใช้บริการจะถูกส่ง ในช่องสัญญาณเร็ว (FC : Fast Channel) เท่านั้น ทั้งช่องสัญญาณฟอร์เวิร์ดและช่องสัญญาณรีเวอร์ส ในรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นว่าแต่ละไทม์สล็อตของระบบ PACS นั้น จะประกอบด้วยช่องสัญญาณเร็วขนาด 80 บิท และช่องสัญญาณช้าขนาด 10 บิท นอกจากนี้ PACS ยังกำหนดให้มีช่องสัญญาณแบบลอจิกอีกหลายช่อง เพื่อใช้สำหรับวัตถุประสงค์พิเศษอื่น การควบคุมกำลังส่ง เครื่องให้บริการในระบบ PACS จะมีการควบคุมกำลังงานในการส่งสัญญาณให้มีค่าน้อยที่สุด เพื่อเป็นการประหยัดแบตเตอรี่ รวมทั้งยังเป็นการลดการเกิดการอินเตอร์เฟอร์เร้นท์ในช่องสัญญาณร่วม ที่อาจจะเกิดขึ้นบนช่องสัญญาณรีเวอร์ส ได้อีกประการหนึ่ง

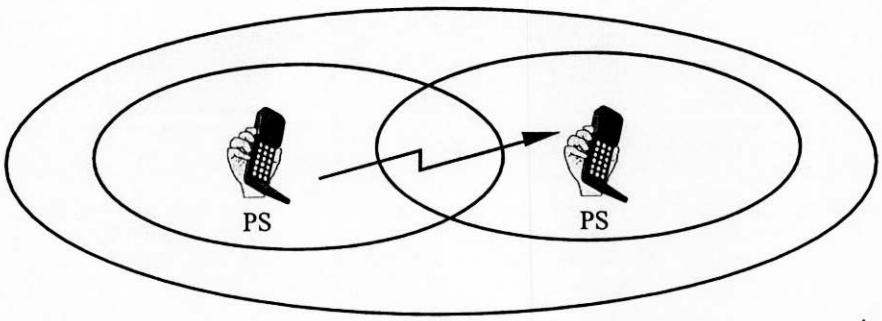
2.3.5 โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส (PHS)

ระบบโทรศัพท์ PHS นั้นมีชื่อเต็มในภาษาอังกฤษว่า Personal Handy-phone System มีความหมายว่าเป็นโทรศัพท์แบบพกพาติดตัว ซึ่งโดยหลักการแล้วระบบโทรศัพท์ PHS คือระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอล (Digital cordless telephone) ระบบโทรศัพท์ PHS ถูกพัฒนาขึ้นโดยประเทศญี่ปุ่น โดยศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาระบบคลื่นวิทยุ (R & D Center) และคณะกรรมมาธิการโทรคมนาคม (TTC : Telecommunications Technology Committee) โดยจะมีการติดตั้งสถานีฐานจำนวน 5.5 ล้านเครื่องในปี 1998 และติดตั้งเพิ่มเติมอีกจำนวน 39 ล้านเครื่องในปี 2010

จุดประสงค์ของการออกแบบระบบ PHS ก็เพื่อที่นำมาใช้เป็นบริการเสริมของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน (PSTN : Public Switched Telephone Network) โดยสามารถใช้กับโทรศัพท์ระบบ (SPC : Store Program Control) หรือระบบ ISDN ก็ได้ และจะให้ประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อใช้กับคู่สายโทรศัพท์ระบบ ISDN ทั้งนี้เพราะโทรศัพท์ PHS สามารถให้บริการได้ถึงระดับการให้บริการมัลติมิเดีย คือ สามารถให้บริการได้หลายรูปแบบทั้งการส่งสัญญาณเสียง ส่งข้อมูลและภาพได้ โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS นั้นมีความสามารถในการให้บริการได้ 5 รูปแบบด้วยกันคือ

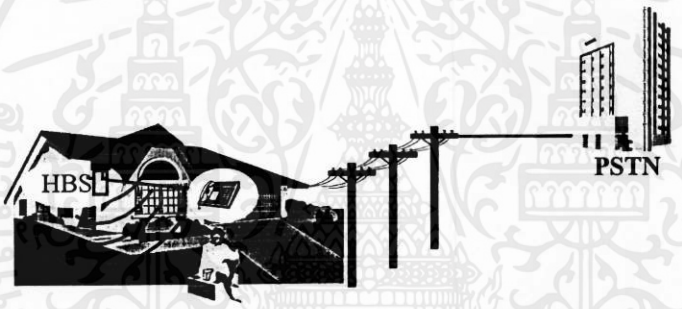
1) สามารถติดต่อกันระหว่างเครื่องลูกข่าย (PS : Personal Station) ด้วยกันได้ โดยไม่ต้องอาศัยเซลสเตชั่น (CS : Cell Station) คือ มีลักษณะการติดต่อเหมือนเครื่องรับ-ส่ง (Transceiver) ทำให้สามารถใช้ติดต่อกันภายในรัศมีประมาณ 100 เมตรได้แบบเดียวกับการใช้อินเตอร์คอมแบบไร้สาย (Wireless intercom) ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ในการติดต่อกันภายในบ้านหรือสำนักงานเป็นอย่างยิ่ง โดยสามารถดูรูปการใช้งานแบบอินเตอร์คอมไร้สายนี้ ได้จากรูปที่ 1.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการใช้โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS แบบติดต่อกันโดยตรงระหว่างเครื่องลูกข่าย

2) ใช้งานในลักษณะเป็นโทรศัพท์ไร้สาย เมื่อติดตั้งเซลสเตชั่น HBS (Home Base Station) เข้ากับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน PSTN ที่บ้าน โดยเครื่องลูกข่าย PS ก็จะสามารถโทรออกและเข้าได้เช่นเดียวกับโทรศัพท์ไร้สายทั่วไป ซึ่งเลขหมายของโทรศัพท์ PHS จะเป็นหมายเลขโทรศัพท์ที่บ้าน โดยมีลักษณะการใช้งานดังรูปที่ 2.9



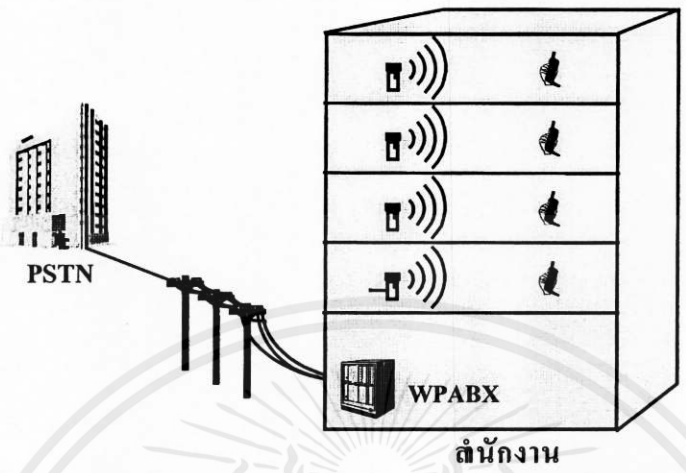
HBS : Home Base Station PSTN : Public Switched Telephone Network

รูปที่ 2.9 แสดงการใช้โทรศัพท์ PHS ร่วมกับโทรศัพท์พื้นฐานที่บ้านในลักษณะโทรศัพท์ไร้สาย

3) สามารถใช้ในสำนักงานร่วมกับชุมสายปลายทางแบบไร้สาย (WPABX:Wireless Private Automatic Branch Exchange) ในลักษณะของโทรศัพท์ไร้สายภายในสำนักงาน โดยหมายเลขของโทรศัพท์ PHS จะเป็นหมายเลขเดียวกับหมายเลขภายในสำนักงานนั้นๆ ซึ่งจะทำให้มีความสะดวกในการติดต่อกันภายในหน่วยงานและยังประหยัดค่าใช้จ่ายได้เช่นเดียวกับโทรศัพท์ภายในสำนักงานทุกประการ โดยลักษณะการทำงานจะเป็นดังรูปที่ 2.10

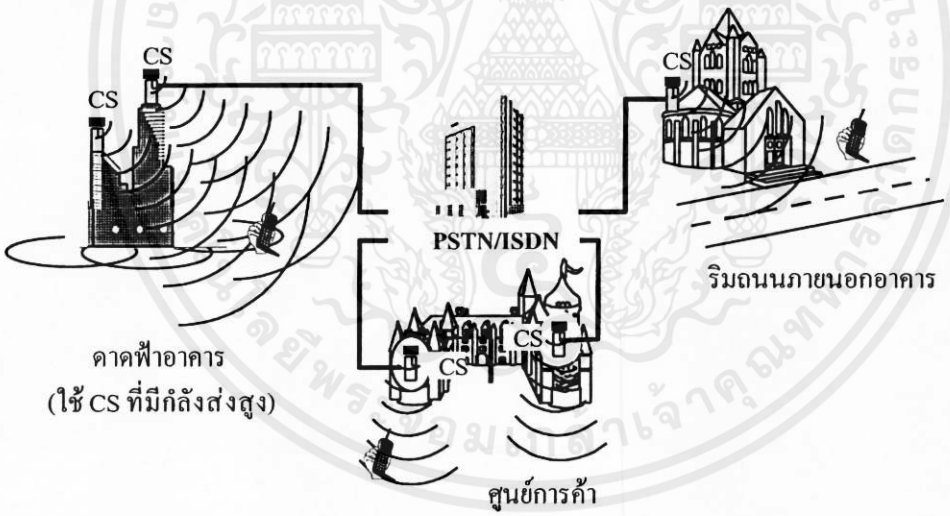
4) สามารถใช้นอกอาคารได้ โดยมีเป้าหมายหลักของการให้บริการนอกอาคาร เช่น บนถนนหนทางต่างๆ หรือในที่อับ เช่นในสถานีรถไฟ สถานีขนส่ง หรือขณะออกกำลังกายภายนอกบ้าน ในสวนสาธารณะหรือแทนการใช้โทรศัพท์หยอดเหรียญ โดยผู้ให้บริการจะติดตั้งเซลสเตชั่นไว้ตามจุดต่างๆ ทำให้เกิดเซลต่อเนื่องในการควบคุมพื้นที่ให้บริการ การใช้งาน PHS ในลักษณะเดินหรือวิ่งออกกำลังกาย จึงเป็นไปได้ แต่โดยทั่วไปแล้ว ถ้าใช้ในลักษณะเคลื่อนที่จะใช้ความเร็วได้

ไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพราะถ้าเร็วกว่านั้นสัญญาณจะหลุดหรือขาดการติดต่อ เพราะเซลมีขนาดเล็กมาก (รัศมีประมาณ 100-300 เมตร) ลักษณะการวางเซลจะเป็นดังรูปที่ 2.11



PSTN : Public Switched Telephone Network WPABX : Wireless Private Automatic Branch exchange

รูปที่ 2.10 แสดงการใช้งานโทรศัพท์ PHS ในสำนักงานร่วมกับชุมสายปลายทางแบบไร้สาย



PSTN : Public Switched Telephone Network ISDN : Integrated Serviced Digital Network
CS : Cell Station

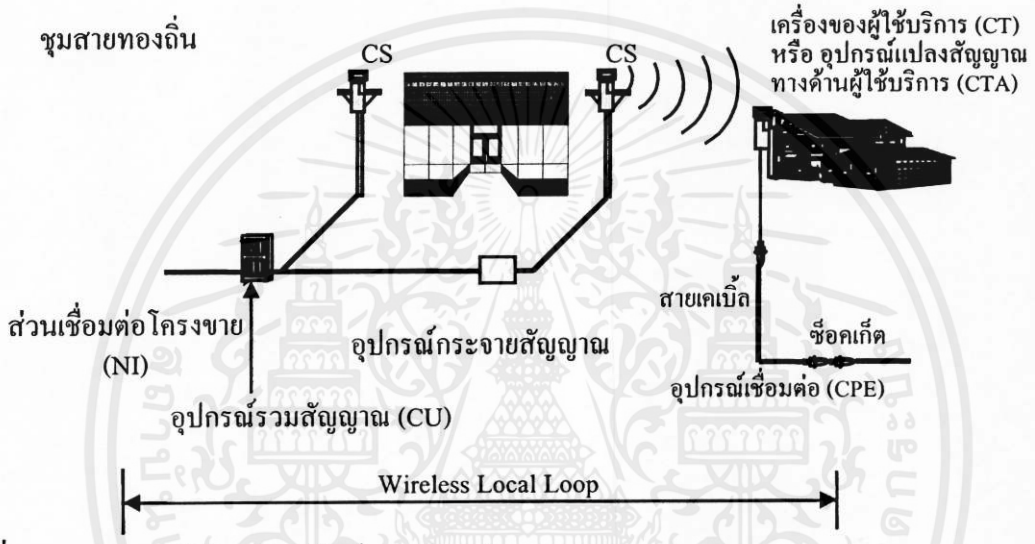
รูปที่ 2.11 แสดงการติดต่อใช้งานโทรศัพท์ระบบ PHS ภายนอกอาคาร

5) สามารถใช้ PHS ในลักษณะของ (WLL : Wireless Local Loop) ในบางกรณีที่การเดินสายทำได้ยากหรือมีความลำบาก เช่น ข้ามน้ำ หรือในหมู่บ้านที่สายโทรศัพท์ยังเข้าไปไม่ถึง วิธีการนี้ทำโดยใช้เซลสเตชั่น 2 สถานี เป็นตัวส่ง-รับต้นทางและปลายทาง หรืออาจต่อเชื่อมโยงกันเป็นลูกโซ่ เพื่อให้บริการในสถานที่ที่การเดินสายทำได้ยาก เช่นเดียวกับโทรศัพท์ชนบท (Rural

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Telephone) โดยการใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณ PHS เป็นตัวกระจายการติดต่อกับเครื่องลูกข่าย ซึ่งในกรณีนี้จะมีประโยชน์ในการขยายการใช้งานโทรศัพท์เป็นอย่างมาก โดยการต่อแบบ WLL แสดงในรูปที่ 2.12

คุณสมบัติทางเทคนิคของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS ใช้งานในช่วงความถี่ระหว่าง 1895 MHz ถึง 1918 MHz (หรือเรียกกันว่าย่าน 1900 MHz นั่นเอง) โดยมีมาตรฐานของการเชื่อมต่อทางอากาศ (Air Interface) ตามมาตรฐาน RCR STD-28 ซึ่งเป็นมาตรฐานของ (ARIB: Association of Radio Industries and Businesses) โดยมีใจความสำคัญสรุปได้ดังตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.12 แสดงการใช้งานโทรศัพท์ PHS ในรูปแบบ WLL

ตารางที่ 2.5 แสดงมาตรฐานของการเชื่อมต่อทางอากาศ (Air Interface)

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	1.9 GHz
ลักษณะการทำงาน	TDMA/TDD
ปริมาณช่องสัญญาณ/คลื่นพาหะ RF	4
วิธีการมอดูเลท	p/4 QPSK
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	32 kbp ADPCM
อัตราการส่งสัญญาณ	384 kbps
กำลังงานทางด้านเอาท์พุท	CS : 500 mW หรือต่ำกว่า
	PS : 10 mW หรือต่ำกว่า
ช่องว่างระหว่างคลื่นพาหะ	300 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.1 โครงข่ายของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

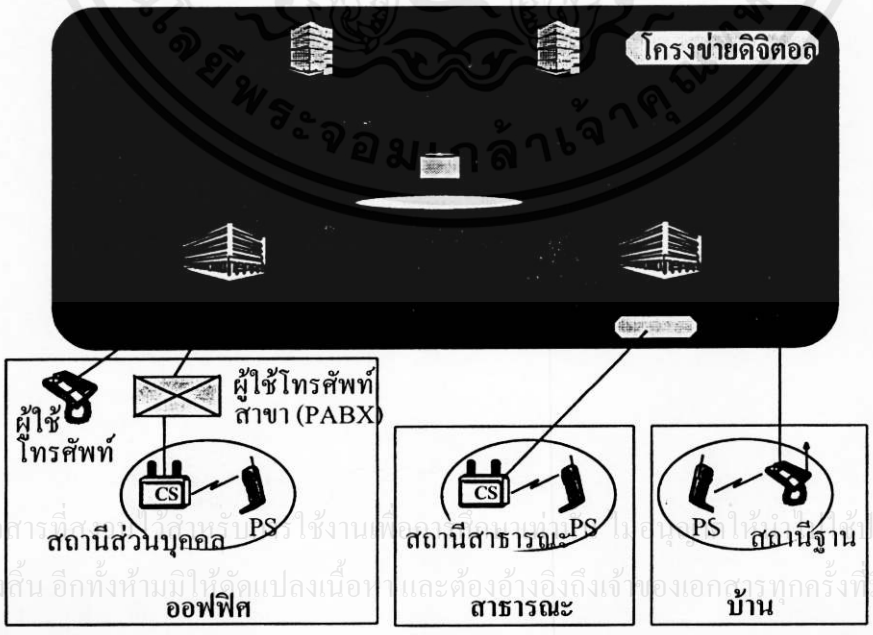
จะใช้มาตรฐานของ (TTC : Telecommunications Technology Committee) ตามมาตรฐาน JT-Q921-b, JT-Q931-b และJT-Q932-a ซึ่งตามข้อกำหนดนี้โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.13 โดยสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่างเซลสเตชั่น CS กับเซิร์ฟเวอร์ จะจัดรูปแบบเป็นแบบ ISDN ที่มีสัญญาณดิจิตอลความเร็ว 32 kb/s แบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) ส่วนสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่าง PHS Switch จะใช้ความเร็ว 384 kb/s

2.3.5.2 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณดิจิตอลของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

จะใช้เทคนิคการเข้ารหัสในระบบ PCM ที่มีการปรับตัวได้หรือที่เรียกกันว่า ADPCM ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน G.711 และ G.726 ของ ITU-T ซึ่งมีสาระสำคัญเกี่ยวกับการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณดิจิตอลดังบล็อคไดอะแกรมรูปที่ 2.14

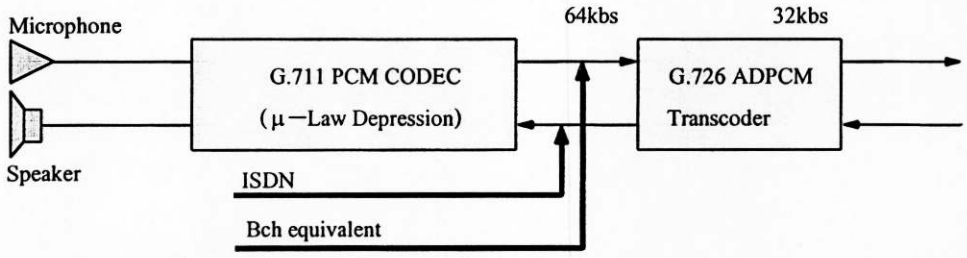
2.3.5.3 ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

จะมีช่องสัญญาณในการติดต่อ 4 ช่องเวลา โดยการใช้เทคนิคแบบ TDMA-TDD จึงทำให้มีช่องเวลาส่ง 4 ช่องและช่องเวลารับ 4 ช่องด้วย การทำงานปกติจะใช้ 1 ช่องส่ง และ 1 ช่องรับสำหรับสัญญาณควบคุม ดังนั้นจึงสามารถติดต่อได้พร้อม ๆ กัน 3 คู่สนทนา ซึ่งจะเห็นว่า เซลสเตชั่น 1 ตัว จะใช้เครื่องลูกข่ายได้ 3 ตัวในเวลาพร้อม ๆ กัน ซึ่งจะมีประโยชน์มากสำหรับการให้บริการแบบหลากหลายข้อมูล เช่น ในระบบ Multimedia เป็นต้น ในรูปที่ 2.15 แสดงการจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD

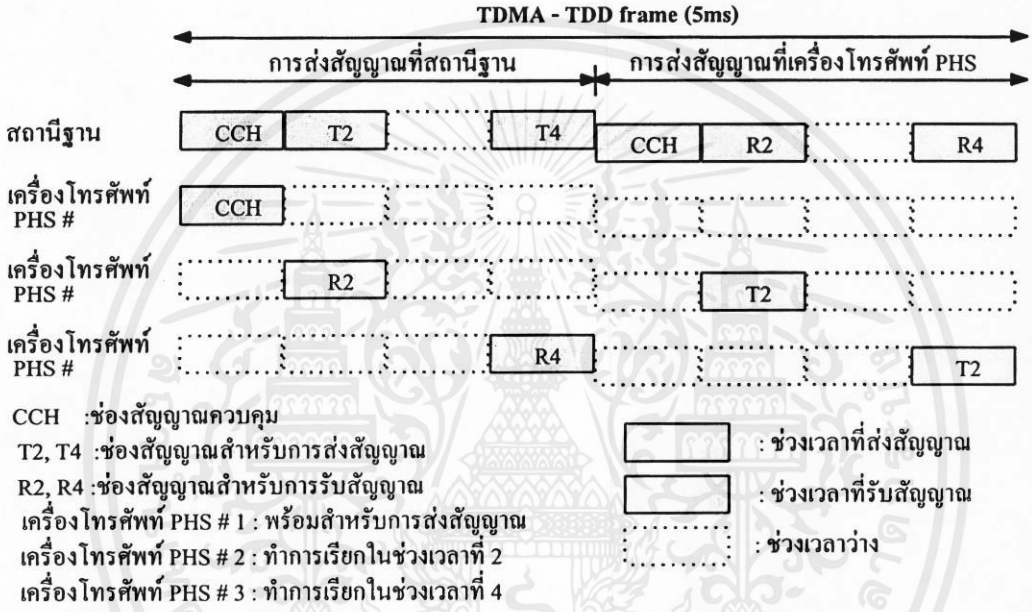


รูปที่ 2.13 แสดงโครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงการเข้ารหัส ADPCM สำหรับเสียงพูด



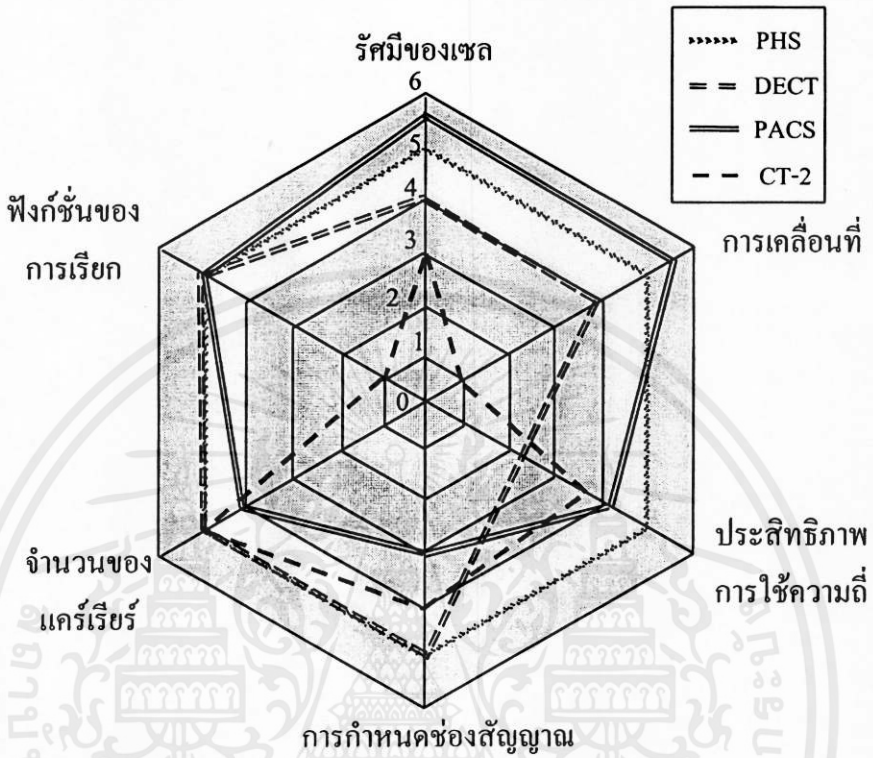
รูปที่ 2.15 แสดงการจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD

2.4 เปรียบเทียบระบบการสื่อสารไร้สายในแบบต่างๆ

เนื่องจากการที่ระบบสื่อสารส่วนบุคคลมีหลายระบบดังที่ได้กล่าวมาแล้วซึ่งแต่ละระบบมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน โดยการเลือกให้บริการต้องเลือกระบบให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งานในพื้นที่นั้น ซึ่งจากรูปที่ 2.16 เป็นการเปรียบเทียบกัน 4 ระบบ ที่กำลังให้บริการอยู่ในปัจจุบัน คือ PHS DECT PACS และ CT-2 โดยในส่วนของรัศมีเซลจะเห็นว่าระบบ PACS มีรัศมีเซลมากที่สุด และยังสามารถใช้ความเร็วมากที่สุดในการเคลื่อนที่ขณะใช้งานอยู่ แต่ประสิทธิภาพการใช้ความถี่น้อยกว่าระบบ PHS นอกจากนี้ ระบบ PACS ยังมีข้อเสียในส่วนของ จำนวนของแคร์เรียร์ และการกำหนดช่องสัญญาณ ซึ่งมีความสามารถน้อยกว่าระบบ PHS DECT และ CT-2 สำหรับระบบ DECT เป็นระบบที่มีข้อดีในส่วนของ ฟังก์ชั่นการเรียก จำนวนของแคร์เรียร์ การกำหนดจำนวนช่องสัญญาณ แต่มีประสิทธิภาพการใช้ความถี่น้อยกว่าระบบอื่นๆ และเคลื่อนที่ได้ช้าขณะใช้งาน ในส่วนของระบบ PHS เป็นระบบที่มีคุณสมบัติในทุกฟังก์ชั่นอยู่ในระดับที่ดี ซึ่งเหมาะในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์ใช้งานในประเทศไทย สุดท้ายเป็นระบบ CT-2 เป็นระบบที่ทุกฟังก์ชั่นอยู่ในระดับที่ไม่ดีนักเหมาะสมกับการพัฒนาและใช้ร่วมกับระบบสื่อสารอื่นๆ



รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบระบบสื่อสารต่างๆ

ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารส่วนบุคคลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

Paramiters	CT-2	DECT	PACS	PHS
ประเทศเจ้าของเทคโนโลยี	อเมริกา	ยุโรป	อเมริกา	ญี่ปุ่น
ย่านความถี่	864.15-868.05 MHz 944 - 948 MHz	1880-1900 MHz	1850-1910 MHz(Up) 1930-1990 MHz (Down)	1895-1918 MHz
ความกว้างของแถบความถี่ที่ใช้งาน	4 MHz	20 MHz	120 MHz	23 MHz
ประสิทธิภาพในการใช้ความถี่	สูง	สูง	ต่ำ	สูง
จำนวนการมัลติเพล็กซ์	1 ch, 100 kHz	12 ch/CS (10 Carriers)	8ch/CS(Carrieres)	4 ch/CS(77 Carriers)
จำนวนช่องสัญญาณ	40 ช่องสัญญาณ			
ลักษณะการทำงาน	FDMA/TDD	FDMA/TDD	FDMA/FDD	FDMA/TDD
การเข้ารหัสและการถอดรหัสสัญญาณเสียง	32 kbps ADPCM	32 kbps ADPCM	32 kbps ADPCM	32 kbps ADPCM
เทคนิคการผสมสัญญาณ	GMSK/DFSK	GMSK/DFSK	$\pi/4$ QPSK	$\pi/4$ QPSK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารส่วนบุคคลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (ต่อ)

Paramiters	CT-2	DECT	PACS	PHS
สมรรถนะการใช้ความถี่	100 kHz , 1ch (100 kHz/ch)	1728 kHz, 12ch (144 kHz/ch)	300 kHz x 2 , 8 ch (75 kHz/ch)	300 kHz,4 ch (75 kHz/ch)
ความเร็วในการส่งข้อมูล	72 kbps	1152 kbps	384 kbps	384 kbps
กำลังงานเอาท์พุทของ CS	5mW Ave (10mW)	10mW Ave. (250 mW)	100mW Ave. (800 mW)	500 m W Ave (4 W) 220mW Ave. (160 mW) 10mW Av. (80mW)
กำลังงานเอาท์พุทของ PS	5mW Ave (10mW)	10mW Ave. (250 mW)	25 mW Ave. (200 mW)	10 mW Ave. (80 mW)
การจัดช่องสัญญาณ	แบบ Dynamic จัดความถี่แบบอัตโนมัติ	แบบ Dynamic จัดความถี่แบบอัตโนมัติ	แบบ Fixed or QSAFA (แบบตายตัวหรือกึ่งอัตโนมัติ)	แบบ Dynamic จัดความถี่แบบอัตโนมัติ
รัศมีคลื่นวิทยุ	50-150 m	50-150 m	300-500 m	100-150 m
การเคลื่อนที่	อยู่กับที่	ความเร็วคนเดิน	ความเร็วของรถยนต์ย่านธุรกิจ	ความเร็วของรถยนต์ย่านธุรกิจ
รูปแบบการติดต่อ	แบบทางเดียว (เฉพาะโทรออก)	สองทางโทรเข้าและโทรออกได้	สองทางโทรเข้าและโทรออกได้	สองทางโทรเข้าและโทรออกได้
ความสามารถในการขยายแถบความถี่	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (FDD)	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)
ปีที่ให้บริการสาธารณะ	ใช้ในไทยแล้ว (โฟนพ้อยท์)	ทดลองใช้ในฟินแลนด์	ยังไม่มีการใช้งานจริง	ใช้งานอยู่ในญี่ปุ่น
ผู้ผลิต	Motorola	Phillip,Nokia	Motorola	Motorola,NEC,Panasonic
การประเมินผล	สะดวกในการใช้งานเพราะโทรออกได้อย่างเดียว 2. ความถี่ขยายออกไปไม่ได้	1.ส่วนใหญ่ใช้ในออฟฟิศ การจัดเฟรมขนาดใหญ่ทำให้ค่า Delay spread มีมาก	1.มีข้อจำกัดในการขยายช่องสัญญาณวิทยุ 2.การจัดช่องสัญญาณถูกกำหนดตามสถานีฐาน	1.ระบบมีความสมดุลย์ 2. สามารถขยายแถบความถี่ได้อีกมาก 3.การจัดช่องสัญญาณความถี่แบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ความรู้เบื้องต้นและทฤษฎีของระบบการสื่อสาร ไร้สายพกพาส่วนบุคคล PCT

ในขณะนี้ประเทศต่างๆ ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจกับระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล PCS (PCS:Personal Communication System) เป็นอย่างมากเนื่องจากคุณสมบัติเด่นๆ หลายประการ โดยโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลที่ประสบความสำเร็จเป็นอย่างยิ่ง คือระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS ของประเทศญี่ปุ่น ดังจะเห็นได้จากเมื่อเปิดให้บริการเพียง 2 ปี ก็มีผู้ใช้งานถึง 7 ล้านเครื่อง และรองลงมาคือระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอลของยุโรป DECT ส่วนในอเมริกา ระบบโทรศัพท์ไร้สาย ดิจิตอล PACS ก็ได้รับความนิยมอย่างมากเช่นกัน ซึ่งเหตุผลที่ระบบสื่อสารไร้สายพกพาส่วนบุคคลได้รับความนิยมอันเนื่องมาจาก ในส่วนของเครื่องลูกข่าย มีการพัฒนาไปสู่ระบบส่วนบุคคล คือจะต้องมีขนาดเล็กกะทัดรัดสะดวกในการพกพา มีขนาดกำลังส่งต่ำ ซึ่งเป็นผลดีกับผู้ใช้งานที่จะไม่ต้องเสี่ยงกับผลกระทบข้างเคียงของคลื่นวิทยุ ที่จะทำลายระบบเยื่อสมองของมนุษย์เรา และยังเป็นการประหยัดพลังงานและแบตเตอรี่ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด เช่น เครื่องลูกข่ายของโทรศัพท์ระบบ PHS ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าและเบากว่าโทรศัพท์มือถือแบบเซลลูล่าร์ถึง 4 เท่าตัว และยังใช้งานได้ถึง 2 สัปดาห์ต่อการประจุแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง ส่วนฟังก์ชั่นการทำงานและการบริการเสริมก็มีมากมายหลายชนิด นอกจากนี้ยังมีรา คาที่ถูกกว่าโทรศัพท์มือถืออีกด้วย ในส่วนของเซลสเตชั่นจะเป็นเซลที่ได้ขนาดเล็กสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ประมาณ 200-400 เมตร ซึ่งเรียกกันว่าไมโครเซล ซึ่งแต่ละเซลสเตชั่นสามารถดูแลเครื่องลูกข่ายให้มีความถูกต้องแม่นยำมากทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างสมบูรณ์

3.1 การพัฒนาและความเป็นมาของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล PCT

สำหรับในประเทศไทย เมื่อต้นปี ค.ศ. 1997 องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย TOT (Telephone Organization of Thailand) ได้อนุมัติให้บริษัทเทเลคอมเอเซีย จำกัด (มหาชน) TA (Telecom Asia Co., Ltd.) เป็นผู้ให้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT โดยพัฒนามาจากโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS ที่ใช้งานได้ดีในประทศญี่ปุ่น ซึ่งเริ่มทดสอบการใช้งานหนึ่งแสนเลขหมายเป็นเวลา 3 เดือน โดยเริ่มในเดือนธันวาคมปี ค.ศ. 1997 จนถึงเดือน มีนาคม ค.ศ. 1998 โดยจะเปิดให้บริการอย่างเต็มพื้นที่ในโอกาสต่อไป ในประเทศไทยก็ได้มีการนำระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล ที่เรียกว่า PCT มาใช้ไมโครเซล ทำให้เครื่องให้บริการมีขนาดเล็กกะทัดรัด เพราะใช้กำลังส่ง-รับขนาดต่ำ สามารถใช้ในอาคารบ้านเรือนได้เช่นเดียวกับโทรศัพท์ไร้สายขด (Cordless

Telephone) เมื่อใช้ร่วมกับอุปกรณ์เซลสเตชั่นที่บ้าน (Home base unit) หรือใช้ภายในสำนักงาน ลักษณะโทรศัพท์ภายในไร้สาย เมื่อใช้ร่วมกับชุมสายปลายทางแบบไร้สาย และยังสามารถนำออกมาใช้ภายนอกอาคารในลักษณะโทรศัพท์เคลื่อนที่ความเร็วต่ำ(Low mobility) เมื่อใช้กับเซลสเตชั่นที่ออกแบบมาให้ใช้กับพื้นที่สาธารณะ จากคุณสมบัติที่ใช้งานได้อเนกประสงค์หลายประการนี้ จึงทำให้มีการนำมาใช้งานกันอย่างจริงจัง

ในโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT ได้ปรับปรุงจากโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS ให้มีคุณสมบัติพิเศษขึ้น และเหมาะสมกับประเทศไทย 3 ประการ คือ

1)ใช้เลขหมายของโทรศัพท์พื้นฐานพกพา PCT เป็นหมายเลขเดียวกับหมายเลขโทรศัพท์บ้าน เพื่อประโยชน์ในการจดจำหมายเลข และการพัฒนาไปสู่หมายเลขส่วนบุคคล (Personal number)

2) ใช้เซลที่มีขนาดใหญ่กว่าระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS เพื่อลดปริมาณการเกิดทราฟฟิคลง และลดจำนวนครั้งของการข้ามเซล (Hand over) เพื่อประโยชน์ในการติดต่อภายในยานพาหนะที่มีความเร็วสูงขึ้น จนถึง 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

3) นำเอาโครงข่าย 3 โครงข่าย คือ โครงข่ายโทรศัพท์ โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS และโครงข่ายอัจฉริยะ IN (IN: Intelligent Network) มาทำงานร่วมกัน

ซึ่งจากการปรับปรุง ทำให้สามารถสร้างฟังก์ชั่นการทำงานในรูปแบบใหม่ๆ สำหรับการให้บริการกับประชาชนได้ถึง 5 รูปแบบด้วยกันคือ

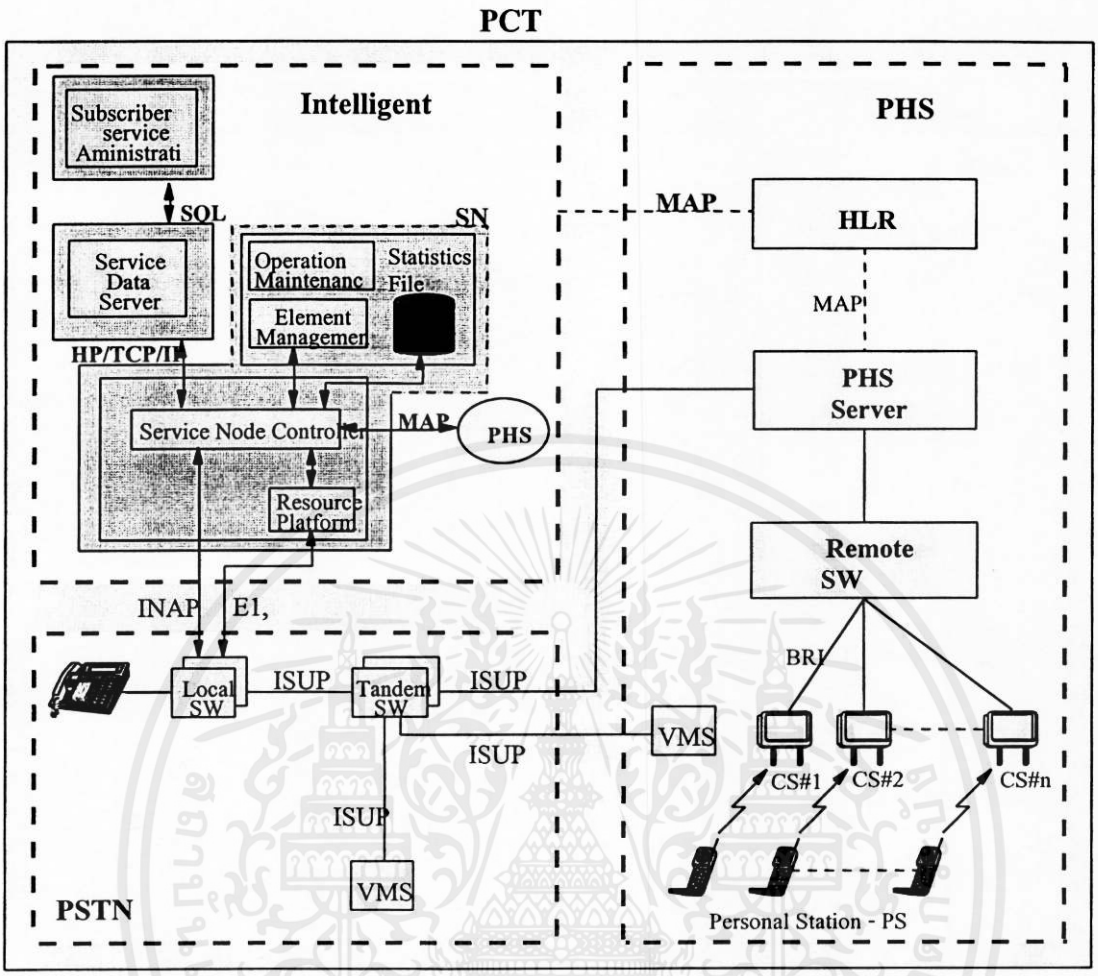
1)สามารถติดต่อกันระหว่างตัวลูกข่ายกับลูกข่าย ในลักษณะของเครื่องรับ-ส่งวิทยุ (Transceiver) เพื่อความสะดวกในการใช้งานภายในบ้านโดยไม่ต้องเสียค่าบริการ

2) สามารถใช้งานเป็นลูกข่ายภายในบ้าน ในลักษณะโทรศัพท์ไร้สายขด (Cordless) โดยติดตั้งสถานีฐานสำหรับบ้าน เพื่อสะดวกในการติดต่อเข้าและออกจากโทรศัพท์ภายนอก

3)สามารถใช้งานเป็นลูกข่ายภายในสำนักงาน โดยต่อเชื่อมกับชุมสายปลายทางไร้สาย เพื่อให้บริการเป็นเครื่องโทรศัพท์ภายในของสำนักงานนั้นๆ โดยไม่ต้องเดินสายและเพื่อความสะดวกในการใช้งาน

4)สามารถใช้ภายนอกอาคาร เมื่อมีการติดตั้งสถานีฐานสาธารณะ (Public base station) เพื่อการให้บริการในรูปแบบของการใช้งานภายนอกแบบเคลื่อนที่ช้า โดยสถานีฐานนี้จะติดตั้งไว้ตามเสาไฟฟ้าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล PCT

5)สามารถใช้ในถิ่นที่ห่างไกลจากความเจริญพอประมาณ โดยการเชื่อมสถานีฐานต่อสถานีฐานในลักษณะเป็นลูกโซ่ไปยังเขตที่ต้องการให้บริการ ซึ่งเรียกกันว่า WLL (WLL: Wireless Local Loop) เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเดินสาย

3.2 โครงสร้างของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล PCT

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า โครงข่ายของระบบพกพาส่วนบุคคล PCT ประกอบไปด้วยโครงข่าย 3 โครงข่าย เข้ามาทำงานร่วมกัน คือโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน PSTN โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS และโครงข่ายอัจริยะ IN ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เพื่อให้บริการในประเทศไทยด้วยเทคโนโลยีใหม่ 3 ประการ คือใช้หมายเลขโทรศัพท์พื้นฐานพกพา PCT เป็นหมายเลขเดียวกับหมายเลขโทรศัพท์พื้นฐาน เพื่อเพิ่มประโยชน์การใช้งานคู่สายโทรศัพท์ และนำไปสู่การใช้หมายเลขส่วนบุคคล ประการที่ 2 พัฒนาให้เซลมีขนาดใหญ่กว่าระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS เพื่อลดปริมาณการเกิดการขาดหายของเสียง (Muting) ในระหว่างการข้ามเซล (Hand over) ซึ่งผลของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองสามารถติดต่อสื่อสารในยานพาหนะที่มีความเร็วมากกว่าระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PHS ถึง 2 เท่า และประการสุดท้ายนำเอาเทคนิคการใช้ 2 แคเรียร์ต่อพื้นที่มาใช้ เพื่อลดการโทรแล้วหลุด (Call drop)

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT นั้น จะสร้างโครงข่ายอยู่ร่วมกับโครงข่ายของโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ ทั้งนี้เพราะโครงข่ายของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT นั้น จะใช้หมายเลขเครื่องเป็นหมายเลขเดียวกับโทรศัพท์พื้นฐาน และมีส่วนของวงจรตอบรับอิเล็กทรอนิกส์ ที่คอยแจ้งให้สามารถเลือกการเรียกไปยังโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT หรือโทรศัพท์บ้านก็ได้

3.2.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ ของบริษัท เทเลคอมเอเซีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่มีการใช้งานอยู่แล้ว จะประกอบไปด้วย ชุมสายโทรศัพท์ 2 ระดับ ดังแสดงในรูปที่ 3.2

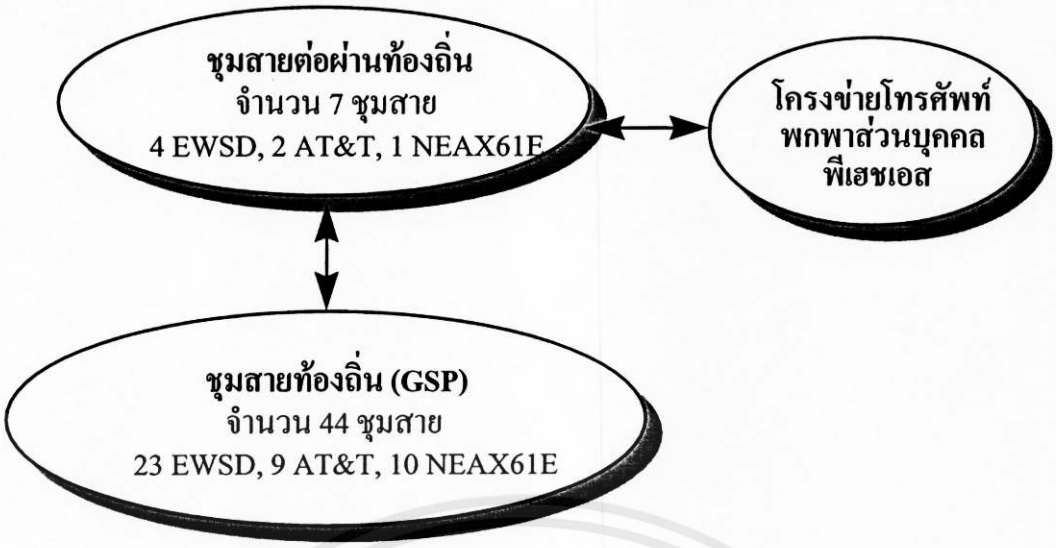
3.2.1.1 ชุมสายท้องถิ่น (Local Exchange) ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของชุมสายปฏิบัติการ (GSP : Group Switching Processor) ทั้งหมด 44 ชุมสาย แบ่งเป็น ชุมสายของ EWSD (Siemens) 23 ชุมสายชุมสายของ AT&T (Lucent) 9 ชุมสาย และชุมสายของ NEAX61E (NEC) 10 ชุมสาย โดยทุกชุมสายติดต่อถึงกันหมด (Mesh connection)

3.2.1.2 ชุมสายต่อผ่านท้องถิ่น (Transit Exchange หรือ Tandem Exchange) ซึ่งประกอบด้วยชุมสายของ EWSD (Siemens) 4 ชุมสาย ชุมสายของ AT&T (Lucent) 2 ชุมสายและชุมสายของ NEAX61E(NEC) 1 ชุมสาย โดยชุมสายท้องถิ่นทั้ง 44 ชุมสายจะติดต่อกับชุมสายต่อผ่านท้องถิ่นทั้งหมด (Mesh connection)

3.2.2 โครงข่ายพีเอชเอส (PHS Network)

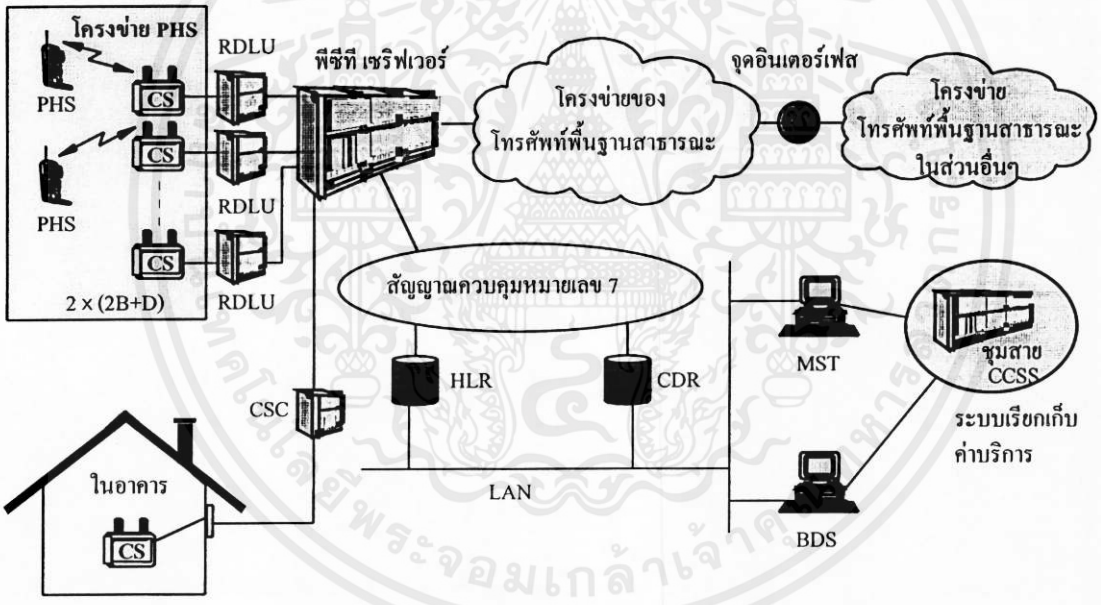
โครงข่ายของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ดังแสดงในรูปที่ 3.3 จะประกอบไปด้วยโครงสร้างหลัก คือ เซลสเตชั่น ที่เชื่อมโยงมายังหน่วยของสวิทช์ หรือ เซิร์ฟเวอร์ (PCT server) โดยผ่านหน่วยควบคุมเซลสเตชั่นสำหรับการใช้งานในอาคารหรือต่อผ่านหน่วยข่ายสายดิจิตอลระยะไกล RDLU (Remote Digital Line Unit)สำหรับการใช้งานนอกอาคารทั่วไป จากนั้นต่อเชื่อมโดยผ่านหน่วยควบคุมเซลสเตชั่นสำหรับการใช้งานในอาคารหรือต่อผ่านหน่วยข่ายสายดิจิตอลระยะไกล RDLU (Remote Digital Line Unit)สำหรับการใช้งานนอกอาคารทั่วไป จากนั้นต่อเชื่อมกับโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ PSTN และมีสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 (SS#7 Signaling System No. 7) เป็นส่วนควบคุมการทำงานของสวิทช์ และทำการตรวจสอบกับส่วนของรีจิสเตอร์ระบุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



GSP : Group Switching Processor

รูปที่ 3.2 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ



รูปที่ 3.3 PHS Network

ตำแหน่งประจำเครื่อง (HLR: Home Location Register) ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีฐานข้อมูลที่เก็บรายละเอียดของตำแหน่งประจำตัวของผู้ใช้บริการ เพื่อทำให้ PCT เซิร์ฟเวอร์ทราบว่าเครื่องลูกข่ายแต่ละเครื่องอยู่ที่ไหนกับส่วนของระบบบันทึกรายละเอียดของการเรียก (CDR: Call Detail Recording system) คือระบบที่บันทึกค่าบริการของการเรียกของเครื่องลูกข่ายแต่ละครั้ง ซึ่งจะประกอบไปด้วยรายละเอียดต่างๆที่จำเป็น และทำเป็นไฟล์ส่งให้กับระบบอื่น เพื่อคิดค่าบริการ และทำการออกบิลเรียกเก็บค่าบริการ นอกจากนั่นส่วนของเซิร์ฟเวอร์ยังต่อไปยังระบบการจัดการโครงข่าย (NMS :

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Network Management System) คือระบบที่ใช้สำหรับเฝ้าดู ตรวจสอบ ทดสอบ บำรุงรักษา วินิจฉัย เหตุเสียในส่วนของเซลสเตชั่น อีกด้วย

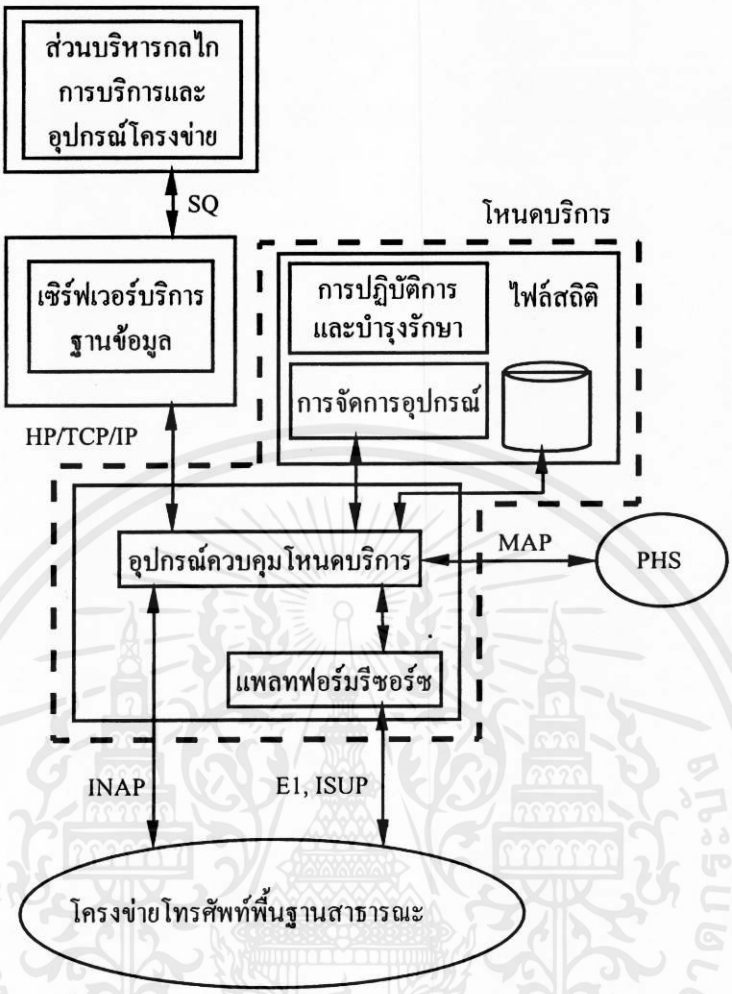
3.2.3 โครงข่ายอัจฉริยะ (IN : Intelligent Network)

เป็นระบบที่เพิ่มเติมเข้าไปในโครงข่าย เพื่อคอยกำกับดูแลการทำงานของระบบและเพิ่มบริการเสริมให้กับโครงข่ายนั้น ซึ่งอาจจะเป็นโครงข่ายของคอมพิวเตอร์ โครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิตอล ISDN หรือโครงข่ายระบบสัญญาณ เพื่อเพิ่มความสามารถของโครงข่ายในด้านต่าง ๆ สำหรับระบบโทรศัพท์ไร้สายพกพาส่วนบุคคล PCT จะนำโครงข่ายอัจฉริยะ IN มาใช้ เพื่อให้บริการในรูปแบบของการให้บริการหมายเลขเดียว โดยใช้คอมพิวเตอร์และซอฟแวร์ช่วยในการจัดการ ในการเชื่อมโยงโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ และโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล พี เฮช เอสเข้าด้วยกัน เมื่อผู้เรียกต้องการที่จะติดต่อเครื่องโทรศัพท์ PCT ก็สามารถกระทำได้ โดยกดเลขหมายของโทรศัพท์บ้าน และเลือกใช้บริการ PCT ส่วนของโครงข่ายอัจฉริยะจะทำการตรวจสอบเลขหมายที่เรียกมากับฐานข้อมูลของตัวเอง หลังจากนั้นจะทำการเลือกเส้นทาง และสร้างเส้นทางสำหรับการเรียกไปยังปลายทางเครื่องลูกข่าย (PS : Personal Station)ได้อย่างถูกต้อง จนกระทั่งสิ้นสุดการสนทนา สำหรับการให้บริการเสริมที่เพิ่มเติมจากบริการหลัก เช่น การให้บริการเบอร์โทรฟรี (Free Phone) การให้บริการโทรศัพท์ใช้การ์ด (Card Calling Service) หรือการให้บริการเก็บเงินในอัตราลดพิเศษ (Premium Rate Service) เป็นต้น จะทำโดยการเพิ่มระบบคอมพิวเตอร์เข้ากับโครงข่ายและเชื่อมต่อเข้ากับระบบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการเสริม ดังนั้นจึงทำให้สามารถแยกฟังก์ชั่นในการควบคุมการเรียก (Call control function) ออกจากฟังก์ชั่นของการให้บริการ (Service control function) ได้ ส่งผลให้ผู้ให้บริการโครงข่ายสามารถที่จะพัฒนาโครงข่ายเพื่อให้บริการได้อย่างรวดเร็ว

3.2.3.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายอัจฉริยะ

ในรูปที่ 3.4 เป็นสถาปัตยกรรมของโครงข่ายอัจฉริยะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนของโหนดบริการ (SN: Service Node) ซึ่งประกอบด้วยส่วนการควบคุมการให้บริการเป็นส่วนประกอบหลัก ส่วนของการบำรุงรักษา ส่วนของหน่วยปฏิบัติการ ส่วนรีซอร์สแพทฟอร์มโดยโหนดบริการมีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของชุมสายที่เชื่อมต่อกับโครงข่าย PHS และ การเชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ ซึ่งทำหน้าที่ในการส่งเสียงตอบรับไปยังปลายทาง (Announcement Playback) รับสัญญาณเลขหมายของโทรศัพท์ DTMF (DTMF: Dual Tone Multi Frequency) ในกรณีที่เป็นโทรศัพท์แบบกดปุ่ม หรือพัลซ์ในกรณีที่เป็นเครื่องโทรศัพท์แบบหมุน และทำหน้าที่ในการอัดสัญญาณและยังทำหน้าที่ในการป้อนข้อมูลที่จำเป็นเข้าไปยังระบบการจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



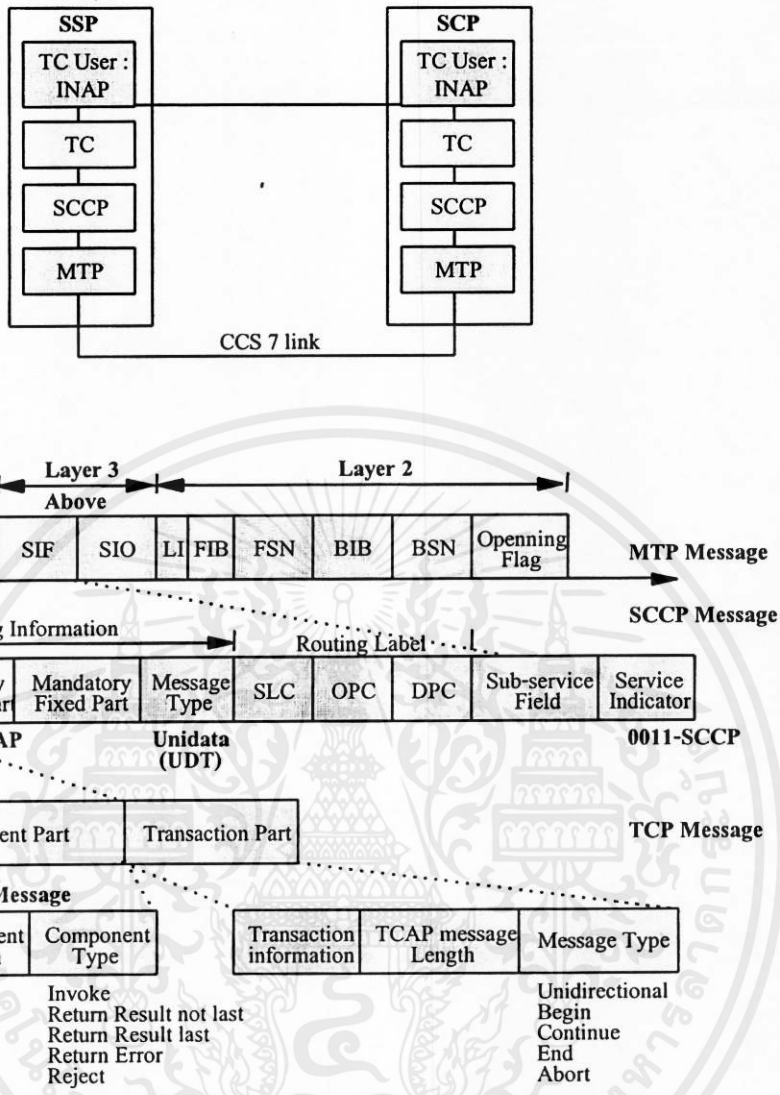
รูปที่ 3.4 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายอัจฉริยะ

การการบริการ โดยใช้กลไกของชุมสายต่อผ่าน (MST: Mechanized Switch Transfer) ส่วนที่สอง คือ ระบบการจัดการการบริการ (SMS: Service Management System หรือ SDS: Service Data Server) ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลของผู้ใช้บริการ และข้อมูลที่เกี่ยวกับการเรียกใช้บริการ เช่น ถ้ามีการโทรเรียกเลขหมายโทรศัพท์พื้นฐานซึ่งเป็นเลขหมายเดียวกับโทรศัพท์พกพา PCT โดยส่วนโหนดการบริการจะทำการติดต่อไปยังส่วนของการจัดการบริหารเพื่อทำการตรวจสอบว่าเลขหมายที่เรียกมาว่ามีการขอใช้บริการ PCT หรือไม่ และตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับการบริการส่วนอื่นอีก

3.2.3.2 โปรโตคอลที่ใช้ในโครงข่ายอัจฉริยะ

โปรโตคอลที่ใช้สำหรับการติดต่อระหว่างชุมสาย (SSP: Service Switching Point) กับส่วนของการควบคุมการให้บริการ (SPC: Service Control Point) จะใช้ฟังก์ชั่นของการทำงานในระบบควบคุมสัญญาณหมายเลข 7 (CCS No.7) โดยแสดงระดับของโปรโตคอลและเฟรมของสัญญาณควบคุมดังในรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

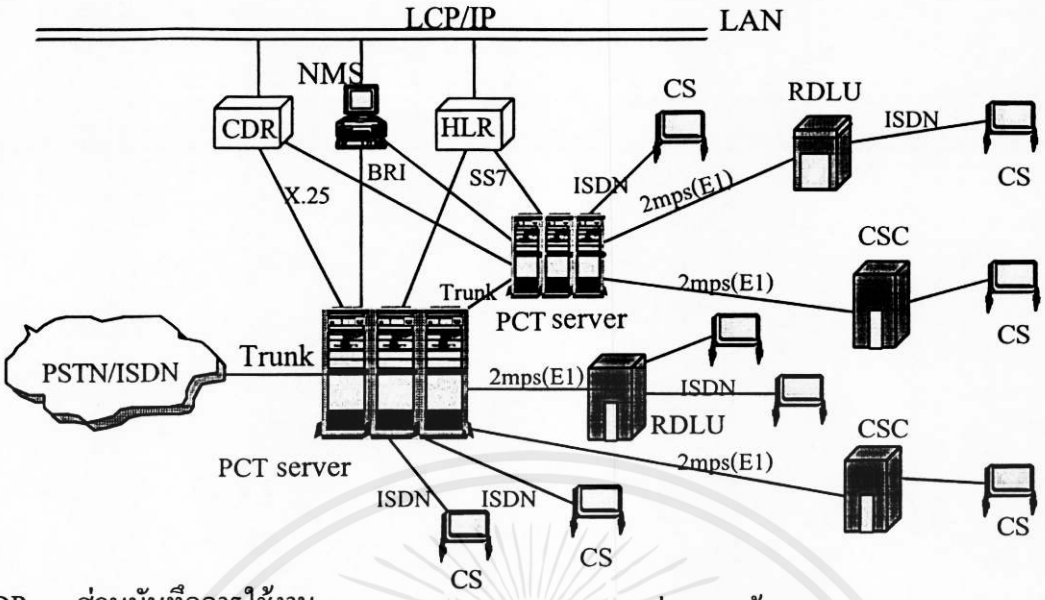


รูปที่ 3.5 ระดับชั้นของโปรโตคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดของสัญญาณควบคุม

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล PCT

อุปกรณ์ที่ใช้ในโครงข่าย PHS ที่ใช้นำมาใช้งานในประเทศไทยมีอุปกรณ์ที่ประกอบไปด้วย PCT เซิร์ฟเวอร์ ส่วนของ HLR ซึ่งใช้เป็นฐานข้อมูล ส่วนของ CDR ใช้บันทึกการใช้งานและอุปกรณ์ RDLU เป็นส่วนเชื่อมต่อเซลสเตชั่นกับโครงข่าย โดยมีการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CDR : ส่วนบันทึกการใช้งาน
RDLU : ส่วนเชื่อมต่อเซลเตชั่นกับโครงข่าย
CS : เซลสเตชั่น
HLR : ส่วนฐานข้อมูล
CSC : ส่วนควบคุมเซลเตชั่น
NMS : ส่วนตรวจสอบและซ่อมบำรุง

รูปที่ 3.6 การเชื่อมต่อระหว่างชุมสายดิจิตอลระยะไกลกับ PCT เซิร์ฟเวอร์

3.3.1 PCT เซิร์ฟเวอร์ (PCT Server)

PCT เซิร์ฟเวอร์ คือ อุปกรณ์เครื่องชุมสายสำหรับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT โดย PCT เซิร์ฟเวอร์จะมีการทำงาน คือ ทำการเชื่อมเครื่องลูกข่ายเข้ากับระบบต่อโดยส่งข้อมูลของเครื่องลูกข่ายไปตรวจสอบการลงทะเบียนของผู้ใช้บริการเมื่อผ่านการตรวจสอบจะทำส่งข้อมูลยังอุปกรณ์รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง (HLR) และทำการสร้างเส้นทางในการเรียกไปยังชุมสายปลายทางที่ต้องการติดต่อ

โดย PCT Server นั้น จะมีอุปกรณ์ 2 ชุด โดยชุดแรกเรียกว่า PCT Adapter ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณระหว่างสถานีฐานไปยังโทรศัพท์พื้นฐานในกรณีที่มีการเรียกจากเครื่อง PCT ไปยังโทรศัพท์ตามบ้าน ชุดที่สองเป็น PCT Switch มีหน้าที่เชื่อมต่อข้อมูลไปยังส่วนควบคุมโครงข่าย PCT ที่ประกอบไปด้วย หน่วยบริหารโครงข่าย (NMS : Network Management System) ที่ทำหน้าที่ในการดูแลโครงข่ายทั้งโครงข่ายว่ามีปัญหา หรือมีการทำงานเป็นอย่างไร ถ้ามีปัญหาก็จะแก้ไขปัญหานั้นๆ ด้วยซอฟท์แวร์ที่กำหนดไว้ ซึ่งวิธีการนี้ถือว่าเข้าชั้นของโครงข่ายอัจฉริยะ (IN: Intelligent Network) และอุปกรณ์อีก 2 ตัวเป็นอุปกรณ์ในการเก็บและตรวจสอบข้อมูลโทรศัพท์ PCT ว่าเป็นหมายเลขใด โทรถึงไหน มีรายละเอียดเวลาอย่างไร เป็นต้น และอีกส่วนหนึ่งเป็นอุปกรณ์ตรวจสอบและบันทึกการใช้งานต่างๆ ของ PCT แต่ละเครื่อง เพื่อใช้ในการทำบิลค่าใช้จ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ชุมสายดิจิตอลระยะไกล (RDLU : Remote Digital Line Unit)

สำหรับระบบชุมสายของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบชุมสายของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ นั่นคือจะประกอบด้วยชุมสายหลัก และชุมสายย่อย โดยอุปกรณ์ชุมสายของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล PCT ที่ติดตั้งในชุมสายย่อยนั้นจะเรียกว่า อุปกรณ์ชุมสายดิจิตอลระยะไกล หรือ (RDLU: Remote Digital Line Unit) และมีการต่อจาก RDLU ฝ่ายข่ายสายตอนนอกไปยังเซลสเตชั่นในจุดต่างๆที่ถูกกำหนดไว้ในกระบวนการออกแบบระบบ

ชุมสายดิจิตอลระยะไกล (RDLU) เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อ PCT เซิร์ฟเวอร์กับเซลสเตชั่น โดยการเชื่อมต่อภายนอกอาคารนั้นจะต่อได้ 2 แบบ คือแบบ Local Access เป็นการต่อ PCT เซิร์ฟเวอร์กับเซลสเตชั่นโดยตรงผ่าน DLM (DLM: Digita Line Module) และแบบ Remote Access ซึ่งเป็นการต่อผ่าน RDLM (RDLM: Remote Digital Line Module) ซึ่งทำหน้าที่เป็น ISDN Basic Rate Interface (BRI) ด้วยอัตราการส่งข้อมูล 2.048 Mbps โดยจะใช้สายเคเบิ้ลใยแก้วนำแสง ส่วนการต่อเซลสเตชั่นในอาคารต้องต่อเข้าที่ สถานีควบคุมเซลสเตชั่น (CSC: Cell Station Controller) โดยตัว CSC นั้นทำหน้าที่คล้ายกับอุปกรณ์ Concentrator จากนั้นก็จะต่อไปยัง PCT Server ซึ่งเป็นอุปกรณ์เครื่องชุมสาย (Switching Equipment) โดยทำหน้าที่ควบคุมการเรียกระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเซลสเตชั่น จากนั้นก็ต่อไปยังโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน (PSTN : Public Switched Telecommunication Network) หรือโครงข่ายบริการร่วมดิจิตอล (ISDN : Integrated Service Digital Network)ต่อไป

3.3.3 รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง (HLR : Home Location Register)

รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง เป็นฐานข้อมูลของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT โดยข้อมูลที่เก็บในรีจิสเตอร์นี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนของผู้ใช้บริการและส่วนของชุมสาย ส่วนแรกเป็นข้อมูลของผู้ใช้บริการ โดยเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับการลงทะเบียนว่าขอเปิดใช้บริการรูปแบบใดบ้าง เช่น โทรออกไม่ได้ แสดงเลขหมายเมื่อมีการเรียกเข้า และการเปิดบริการฝากข้อความ เป็นต้นและอีกส่วนหนึ่งของผู้ใช้บริการคือส่วนที่เปลี่ยนแปลงได้ คือตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย เมื่อเครื่องลูกข่ายมีการเคลื่อนที่ ส่วนของรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำประจำเครื่องจะทำการอัพเดทตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายตลอดเวลา เพื่อให้ระบบสามารถเรียกไปยังเครื่องลูกข่ายได้อย่างถูกต้อง เมื่อมีการเปิดใช้เครื่องลูกข่าย ฐานข้อมูลของรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง จะเริ่มต้นกระบวนการอัพเดทตำแหน่ง โดยทำการตรวจสอบเลขหมายประจำเครื่องที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำของเซลสเตชั่น ถ้าเลขประจำเครื่องมีค่าแตกต่างจากค่าที่ได้จากช่องสัญญาณ BCCH เครื่องลูกข่ายจะทำการร้องขอกระบวนการอัพเดท ตำแหน่ง โดยเริ่มต้นจากขั้นตอนในการตรวจสอบความถูกต้องของผู้ใช้บริการ ว่าเป็นผู้ใช้บริการที่ได้มีการจดทะเบียนอย่างถูกต้องจากผู้ให้บริการหรือไม่ เมื่อมีการยืนยันความถูกต้องของผู้ใช้บริการส่วนของรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่องจะทำการอัพเดท

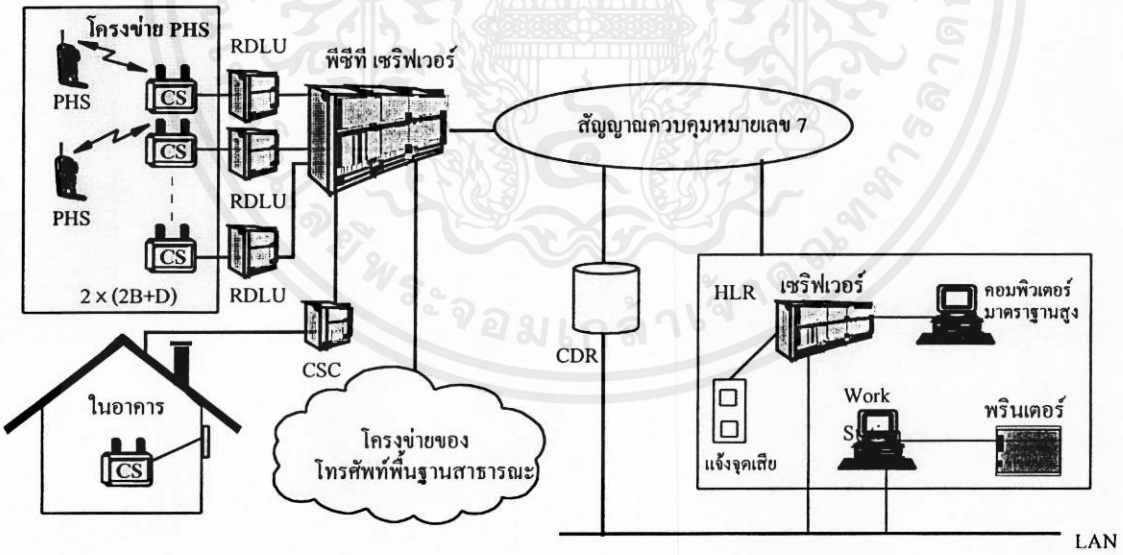
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งใหม่ลงในฐานข้อมูล สำหรับข้อมูลส่วนของชุมสายประกอบไปด้วย NO.7 เป็นข้อมูลใช้สำหรับรับ-ส่ง ข้อมูลของระบบสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 เช่นสัญญาณ Routing และนอกจากนี้ยังมีข้อมูลของจำนวนครั้งของการร้องขอการโทรออกเพื่อสะดวกต่อการเรียกเก็บค่าบริการอีกด้วย

ส่วนของ ฮาร์ดแวร์ของ HLR นั้นจะประกอบด้วย ส่วนของ Server ที่เป็นคอมพิวเตอร์ที่มีความน่าเชื่อถือสูง (FTC: Fault Tolerant Computer) ซึ่งใช้ระบบ ปฏิบัติการ Unix ส่วนที่สองคือส่วนของ Work Station เป็นส่วนที่ควบคุมการทำงานของ HLR ส่วนสุดท้ายเป็นส่วนของ Alarm Panel เป็นส่วนที่แสดง Alarm ของ HLR ทั้งหมดเช่น หากระบบใดเสียระบบหนึ่ง Alarm Display ก็จะแสดงจุดนั้นทันที รูปที่ 3.7 แสดงส่วนของฮาร์ดแวร์ของ HLR และตำแหน่งของ HLR

3.3.4 ระบบบันทึกรายละเอียดของการเรียก (CDR : Call Detail Record system)

เป็นระบบจัดการบันทึกข้อมูลการเรียกของผู้ใช้บริการ คือ ระบบคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่รวบรวมบันทึกการเรียกของผู้ใช้บริการ ไม่ว่าจะเป็นการเรียกออกจากเครื่องลูกข่าย หรือการเรียกเข้ามายังเครื่องลูกข่าย จัดการบันทึกการเรียกลงในระบบเรียกเก็บเงินค่าบริการ บันทึกรายละเอียดในการใช้บริการเสริมของผู้ใช้บริการ โดยโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT เครื่องลูกข่าย จะนำมาตรฐานโปรโตคอล X.25 มาใช้ในระบบนี้ ตำแหน่งของ CDR ที่ติดตั้งในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT ดังในรูปที่ 3.7



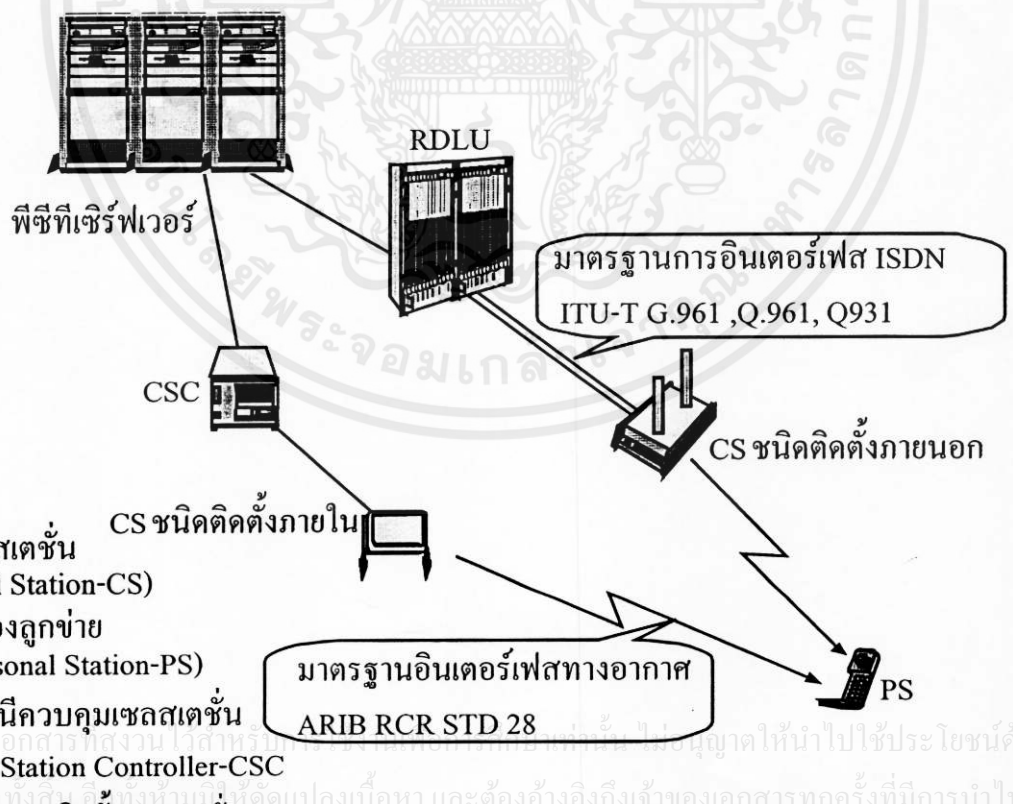
รูปที่ 3.7 แสดงส่วนขอฮาร์ดแวร์ของ HLR และการตำแหน่งของ HLR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 เซลสเตชั่น (CS : Cell Station)

เซลสเตชั่น คือ อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อระหว่าง PCT เซิร์ฟเวอร์กับเครื่องลูกข่าย โดยการเชื่อมต่อกับเครื่องลูกข่ายผ่านอากาศ (Air Interface) จะเป็นไปตามมาตรฐาน ARIB RCR STD 28 (ARIB: Association of Radio Industries and Businesses) ส่วนการเชื่อมต่อเซลสเตชั่นกับโครงสร้างภายในตามมาตรฐานการอินเตอร์เฟส ISDN ของ ITU-T G.961,G.931 เซลสเตชั่นทำการกระจายสัญญาณวิทยุไปยังเครื่องลูกข่ายโดยส่วนของข้อมูล จะประกอบไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 3.8 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบ่งได้ 2 แบบตามลักษณะการใช้งาน คือ เซลสเตชั่นที่ติดตั้งไว้นอกอาคารเพื่อการใช้งานตามพื้นที่สาธารณะทั่วไป โดยที่เซลสเตชั่นจะต่อไปยังส่วน RDLU ก่อนจะต่อไปยัง PCT เซิร์ฟเวอร์ สำหรับอีกแบบหนึ่งเป็นการใช้งานในอาคาร ซึ่งเซลสเตชั่นจะต่อผ่านส่วนสถานีควบคุมเซลสเตชั่น (CSC:Cell Station Controller) ซึ่งมีหน้าที่คล้ายอุปกรณ์ Concentrator จากนั้นต่อไปยัง PCT Server

ในส่วนของหน้าที่ของเซลสเตชั่นนั้นมีหลายประการ กล่าวคือ เซลสเตชั่นจะทำการกระจายคลื่นไปยังเครื่องลูกข่าย โดยตรวจสอบข้อมูลเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของเขตนั้นๆโดยจะทำการเก็บข้อมูลต่างๆของเครื่องลูกข่าย ทั้งตำแหน่ง การลงทะเบียนการขอใช้บริการแล้วส่งไปยังส่วนของระบบเก็บข้อมูลเพื่ออัพเดทตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายในรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่ง เมื่อเครื่องลูกข่ายมีการเคลื่อนที่ย้ายตำแหน่ง หรือเปลี่ยนเซลซึ่งทำให้ระบบจะสามารถ



รูปที่ 3.8 การติดตั้งเซลสเตชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกไปยังเครื่องลูกข่ายต้องการติดต่อได้อย่างถูกต้อง และยังกำหนดช่องสัญญาณสำหรับการติดต่อให้กับเครื่องลูกข่ายเมื่อมีการเรียกออกจากเครื่องลูกข่าย หรือมีการเรียกเข้าหาเครื่องลูกข่าย ซึ่งเซลสเตชั่น และเครื่องลูกข่ายจะมอนิเตอร์ช่องสัญญาณที่ใช้งานตลอดเวลา หากมีสัญญาณรบกวน จนถึงระดับหนึ่งแล้วเซลสเตชั่น และเครื่องลูกข่ายก็จะดำเนินการเพื่อแก้ไขสัญญาณรบกวนโดยการสลับช่องเวลาไปใช้ ช่องเวลาอื่น ในคลื่นความถี่เดิม ถ้าความถี่เดิมไม่มีช่องสัญญาณเดิมไม่ว่างก็จะสลับช่องเวลาไปใช้ช่องเวลาอื่น ในคลื่นความถี่อื่น ถ้าไม่ประสบความสำเร็จก็จะหาสถานีลูกข่ายข้างเคียง โดยถ้ามีช่องสัญญาณว่างจะทำการติดต่อใหม่โดยอัตโนมัติ แต่ถ้าไม่สามารถทำตามกระบวนการข้างต้น เซลสเตชั่นจะขอยกเลิกการติดต่อ และหน้าที่ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของเซลสเตชั่นคือจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ที่ถอดรหัสสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องลูกข่ายก่อนส่งเข้าไปในสาย ISDN เพราะเครื่องลูกข่ายจะมีการเข้ารหัสเพื่อเพิ่มความปลอดภัยจากการลอบดักฟัง โดยการใช้เทคนิคการเข้ารหัสเสียงแบบ ADPCM ที่ความเร็ว 32 kbps และจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณพัลซ์ขนาด 64 kbps ซึ่งสามารถส่งไปในช่องสัญญาณ B ของ BRI ของคู่สาย ISDN ได้ นอกจากนี้เซลสเตชั่นยังมีหน้าที่ส่งสัญญาณขอการแฮนด์โอเวอร์ไปยัง PCT เซิร์ฟเวอร์เมื่อสัญญาณเครื่องลูกข่ายได้รับสัญญาณของเซลเดิมอ่อนลงจนถึงระดับหนึ่งและเซลข้างเคียงมีสัญญาณที่แรงกว่าซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

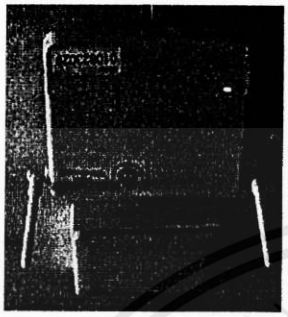
3.4.1 ประเภทของเซลสเตชั่น

เซลสเตชั่นที่นำมาใช้ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพา PCT จะมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดติดตั้งภายในตัวอาคาร โดยจะมีกำลังส่ง 10 mW และชนิดติดตั้งนอกอาคาร มีกำลังส่งขนาด 20 mW และ 200 mW ดังแสดงในรูปที่ 3.9 โดยลักษณะภายนอกอาคารจะติดตั้งตามเสาไฟฟ้าที่เรียงไปตามถนน โดยในการติดตั้งเซลสเตชั่นในประเทศไทยจะติดตั้งสูงจากพื้นดินประมาณ 4.5 เมตรส่วนการติดตั้งภายในอาคารนั้นจะติดตั้งบนเพดานของอาคารนั้นซึ่งปกติจะสูง 3 เมตร โดยเซลสเตชั่นภายนอกอาคาร 20 mW มีขนาด190X250 X 85 mm และหนัก 3 กิโลกรัม และ เซล 200 mW มีขนาด 200 X 420 X 150 mm น้ำหนัก 7.4 กิโลกรัม ส่วนเซล 10 mW ที่ใช้ในอาคาร มีขนาดเล็กกว่าเซลนอกอาคาร คือมีขนาด 154 X 142 X 46.5 mm และหนัก 0.6 กิโลกรัม ซึ่งออกแบบมาให้เหมาะสมกับการใช้งานในอาคารเนื่องจากพื้นที่ในการติดตั้งและพื้นที่ที่ต้องการครอบคลุมเฉพาะในอาคารนั้นๆ

สำหรับความสามารถในการครอบคลุมพื้นที่ของเซลสเตชั่นในแต่ละแบบ โดยเซลที่มีขนาดกำลังส่งสูงสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ในบริเวณกว้างกว่าเซลที่มีขนาดกำลังส่งน้อยโดยที่เซลสเตชั่นที่มีกำลังส่ง ขนาด 200 mW สามารถแพร่กระจายคลื่นได้ไกลประมาณ 300 เมตร ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 0.2826 ตารางกิโลเมตร และสายอากาศที่มีกำลังส่ง 20 mW จะแพร่กระจายคลื่นได้ระยะประมาณ 100 เมตร ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ 0.0314 ตารางกิโลเมตร แต่ขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมต่างๆด้วย ถ้าในบริเวณนั้นมีอาคาร ต้นไม้ และสิ่งแวดล้อมอื่นๆที่มีผลทำให้สัญญาณเกิดการเฟดดิ้งก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ระยะการแพร่กระจายคลื่นน้อยลงด้วย ส่วนสายอากาศที่ใช้ในอาคารขนาด 10 mW โดยปกติสามารถใช้ได้ดีในอาคารที่มีความยาวไม่เกิน 30 เมตรซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอาคารและความหนาแน่นของสิ่งแวดล้อมในอาคาร โดยสัญญาณในอาคารจะมีการเฟดดิ้งของสัญญาณมากกว่าภายนอกอาคารเพราะมีความหนาแน่นของสิ่งแวดล้อมมากกว่า



(ก) แบบ 10 mW

(ข) แบบ 20 mW

(ค) แบบ 200 mW

รูปที่ 3.9 แสดงประเภทเซลสเตชั่น

รูปที่ 3.10 เครื่องลูกของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 เครื่องลูกข่าย (Personal Station)

เครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT หรือจะเรียกว่า เครื่องลูกข่าย จะประกอบด้วย ส่วนของอุปกรณ์ในการส่งและรับสัญญาณคลื่นวิทยุ สายอากาศ อุปกรณ์การเข้ารหัสสัญญาณเสียง อุปกรณ์ควบคุม เป็นต้น

ตัวเครื่องลูกข่ายจะมีปริมาตรน้อยกว่า 95 ลูกบาศเซนติเมตร และมีน้ำหนักน้อยกว่า 95 กรัมสามารถสนทนาได้อย่างน้อยที่สุด 5 ชั่วโมง และสามารถเปิดเครื่องสแตนด์บายได้อย่างน้อยที่สุด 500 ชั่วโมงต่อการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง โดยจะใช้แหล่งกำเนิดกระแสสลับขนาด 220 โวลท์ ที่ความถี่ 50 Hz ภาษาที่ใช้แสดงบนจอเครื่องจะเป็นภาษาไทย หรือภาษาอังกฤษ อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ระหว่าง -10 ถึง +50 องศาเซลเซียส และสามารถเก็บรักษาเครื่องลูกข่ายในอุณหภูมิ -20 ถึง +60 องศาเซลเซียส

เครื่องลูกข่ายจะใช้มาตรฐาน RCR STD-28 เป็นมาตรฐานการอินเตอร์เฟส ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของ ARIB ของประเทศญี่ปุ่น โดยมีกำลังส่ง 10 mW และใช้ช่องสัญญาณที่ 75 (ความถี่ 1917.350 MHz) เป็นช่องสัญญาณควบคุม

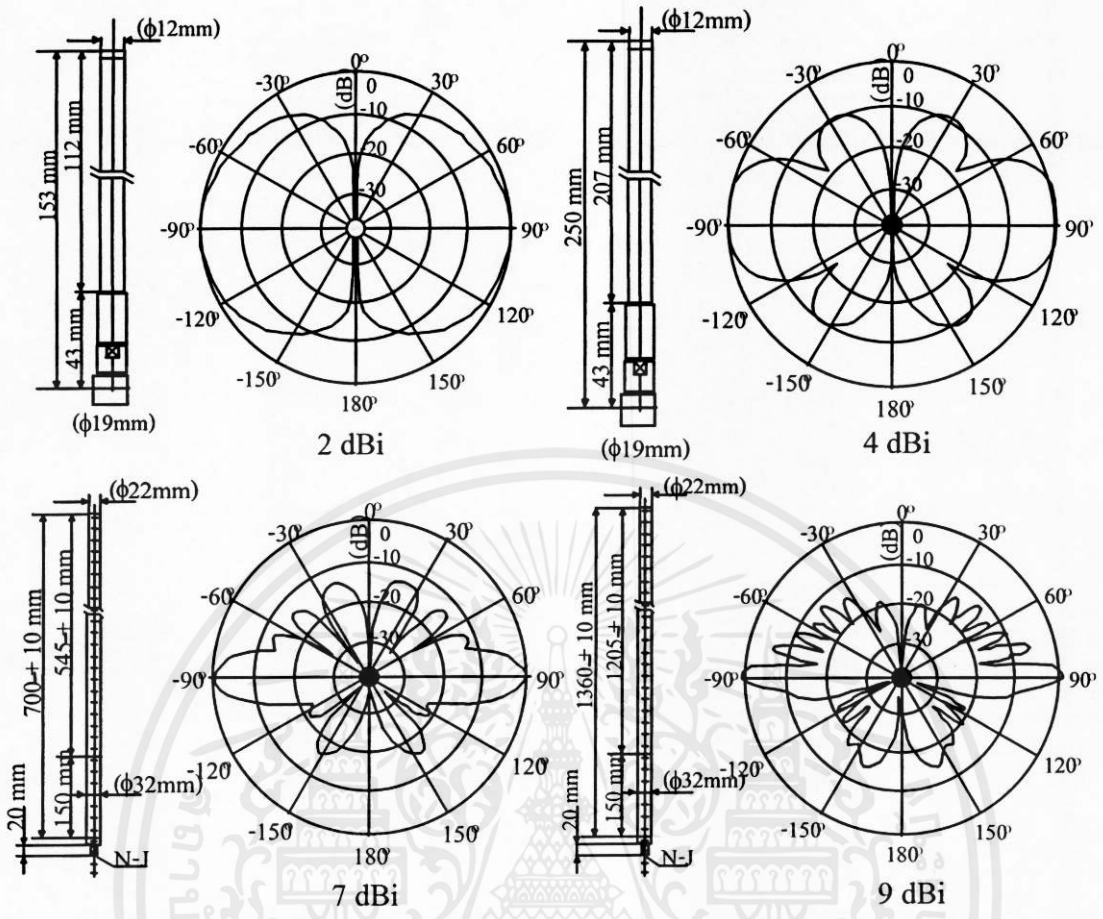
ในส่วนของคีย์แพด จะมีขนาดที่สวยงาม กะทัดรัด มีลักษณะนูน เพื่อให้ง่าย และสะดวกในการใช้ โดยคีย์แพด จะมีปุ่มอย่างน้อย 12 ปุ่ม รวมทั้งฟังก์ชั่นในการทำงาน เช่น ปุ่มเปิด-ปิดเครื่อง ปุ่มเรียกซ้ำ ปุ่มส่ง หรือรับสัญญาณ เป็นต้น

จอแสดงผล จะสามารถแสดงตัวอักษรได้อย่างน้อย 10 ตัวอักษร โดยสามารถแสดงฟังก์ชั่นต่างๆ เช่น สถานะของการติดต่อ (ยกหู หรือวางหู) ระดับความแรงของสัญญาณ ระดับของแบตเตอรี่ โหมดแสดงผลต่างๆ เช่น การแสดงสัญญาณเรียกเข้า หมายเลขที่เรียกเข้า หรือแสดงข้อความเตือนในกรณีที่มีผู้ฝากข้อความไว้ แสดงให้ทราบว่าอยู่ภายในพื้นที่ให้บริการหรือไม่ และแสดงเวลาในการใช้บริการ เป็นต้น รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างเครื่องลูกข่ายที่มีใช้ทั่วไป

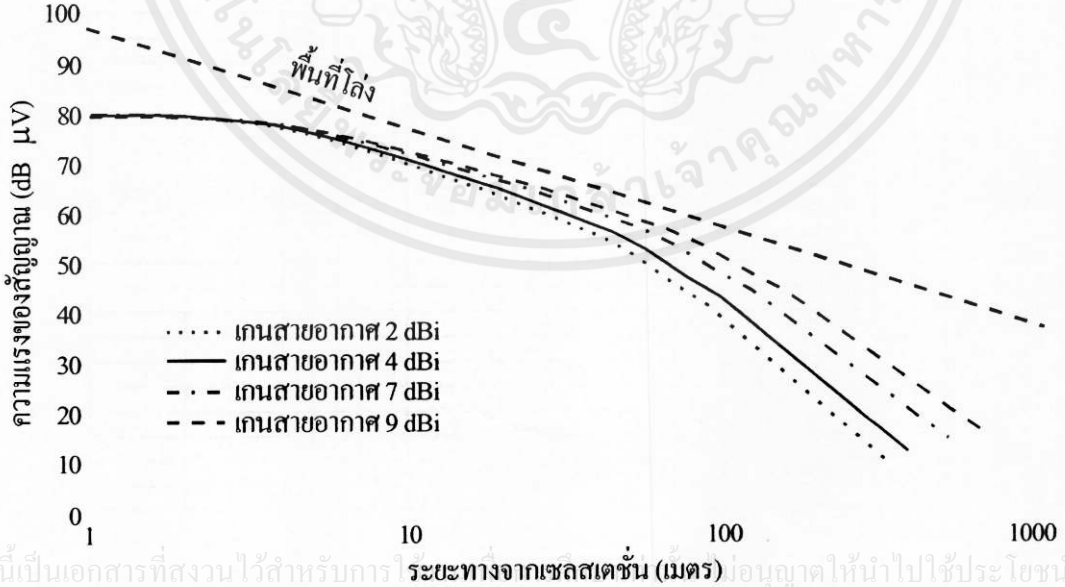
3.6 สายอากาศของเซลสเตชั่นระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล PCT

สายอากาศของเซลสเตชันที่ติดตั้งในประเทศไทยจะใช้สายอากาศที่มีค่าเกน 4 แบบ มีลักษณะดังรูปที่ 3.11 คือ 2 dBi 4 dBi 7 dBi และ9 dBi โดยสายอากาศที่มีค่าซึ่งจะเห็นว่าสายอากาศที่มีค่าเกนสูง จะสามารถกระจายคลื่นในแนวนอนได้ดีแต่ในแนวตั้งจะมีปัญหาบ้าง เพราะมีไซด์โลปมาก ซึ่งจะเป็นผลให้การกระจายคลื่นไปยังอาคารสูงทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งระยะที่สายอากาศสามารถแพร่กระจายคลื่นไปได้แสดงดังในรูป 3.12 โดยที่สายอากาศที่มีเกน 9 dBi 7 dBi 4 dBi และ2 dBi จะมีระยะการแพร่กระจายคลื่น เท่ากับ 750 เมตร 500 เมตร 350 เมตร และ 200 เมตร ตามลำดับ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดงสายอากาศแบบ 2 dBi 4 dBi 7 dBi และ9 dBi



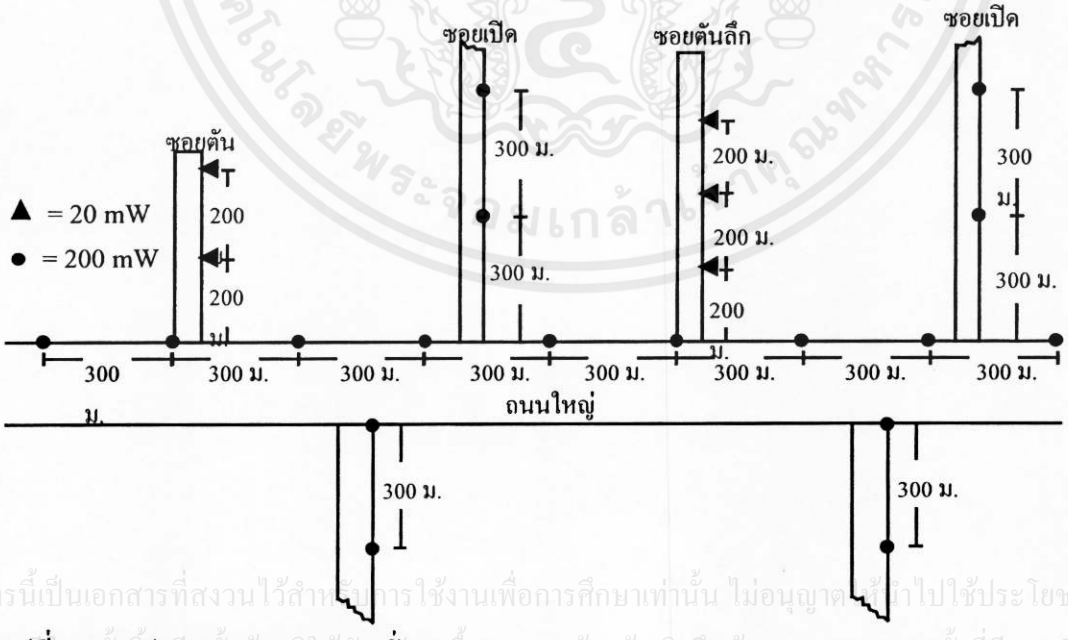
รูปที่ 3.12 แสดงการครอบคลุมของสายอากาศแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การวางโครงข่าย

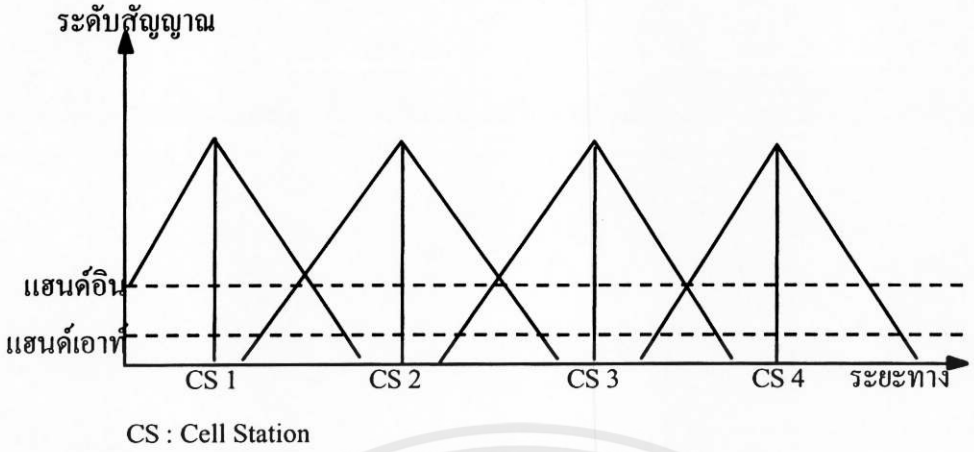
การวางโครงข่ายของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT แบ่งตามลักษณะการใช้งานคือการวางโครงข่ายนอกอาคารและการวางโครงข่ายในอาคาร ดังมีรายละเอียดดังนี้

การวางโครงข่ายนอกอาคารจะใช้เซลสเตชั่น (CS : Cell Station) มีลักษณะดังในรูปที่ 3.13 ซึ่งใช้เซลสเตชั่นที่มีกำลังส่ง 2 ชนิดคือ ขนาด 20 mW และ 200 mW ซึ่งมีขนาดเล็ก โดยจะติดตั้งเรียงรายอยู่ตามเสาไฟฟ้าทุกถนนและทุกซอย เพื่อให้ได้พื้นที่ครอบคลุมประชาชนที่ใช้งานมากที่สุด สถานีฐานเหล่านี้จะอาศัยสายโทรศัพท์พื้นฐานที่มีอยู่แล้วเป็นสายเชื่อมสัญญาณระหว่างสถานีฐานไปยัง PCT Server โดยลักษณะการวางเซลสเตชั่นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของผู้ใช้บริการและลักษณะการใช้งาน โดยบริเวณถนนที่รถวิ่งได้ดี เช่น ทางด่วน ทางมอเตอร์เวย์ จะใช้เซลแบบ 200 mW วางห่างกัน 300 เมตร โดยวางเพียงฝั่งเดียวของถนน ส่วนถนนที่มีการจราจรคับคั่งที่เป็นบริเวณย่านธุรกิจจะวางเซล 20 mW วางห่างกัน 150 เมตร และวางฝั่งเดียวของถนนเช่นกัน ส่วนบริเวณสี่แยกต่าง ๆก็วางตามเซลสเตชั่นเช่นเดียวกับถนนเส้นนั้นๆ แต่จะลดระยะห่างระหว่างเซลเหลือ 100-200 เมตร แต่ถ้าสามารถแยก Paging area ได้บริเวณสี่แยกควรวางเซลขนาด 20 mW สำหรับในซอยที่แยกจากถนนจะทำการวางเซลขนาด 20 mW วางห่างกัน 150 เมตรและไม่ต้องวางที่ปากซอยเพราะมีเซลที่บริเวณถนนอยู่ โดยลักษณะการวางโครงข่าย ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT แสดง รูปที่ 3.14 ซึ่งแต่ละพื้นที่จะมีสองความถี่ครอบคลุม เรียกว่า ทูแคร์เรีย โดยเป็นการออกแบบการใช้ความถี่ที่สมบูรณ์



รูปที่ 3.13 รูปแบบการวางเซลสเตชั่นบนถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะการวางโครงข่าย ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT

ส่วนการวางเซลในอาคารนั้น พื้นที่ในอาคารที่มีคนอาศัยอยู่มากจะใช้เซลขนาด 10 mW วางแต่ละชั้น ชั้นละ1 เซลสเตชั่นหรือสูงสุด 2 เซล แต่ละเซลวางห่างกันอย่างน้อย 20 เมตร แต่ไม่เกิน 60 เมตร โดยไม่ควรวางเซลสเตชั่นไว้ติดๆกันและในหนึ่งอาคารไม่ควรวางเซลเกิน 40 เซลดังในรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.15 แสดงการติดตั้งเซลสเตชั่นภายในอาคาร

3.8 กรรมวิธีในการเรียก (Call Processing)

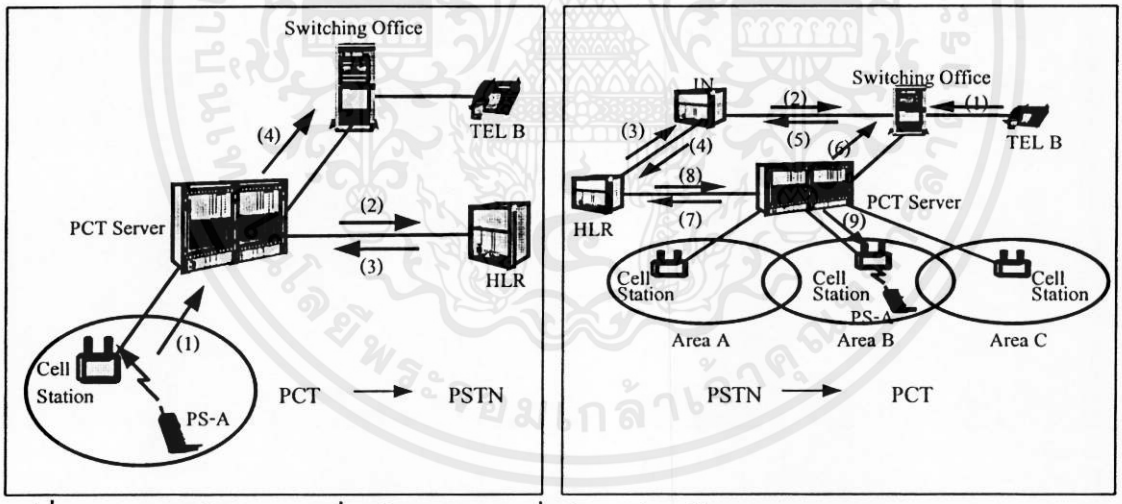
เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

เมื่อมีการเรียกจากเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพา PCT เข้ามายัง PCT Server ข้อมูลของเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพา PCT ก็จะถูกส่งไปยัง HLR (HLR: Home Location Register) ซึ่ง HLR ตรวจสอบข้อมูล (Authentication data) ว่าเป็นผู้เช่าที่ถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้อง

PCT Server ก็จะต่อ Root ไปยังชุมสายปลายทางดังรูปที่ 3.16 ในทำนองเดียวกัน เมื่อมีผู้เรียกจากโทรศัพท์พื้นฐานมายังโทรศัพท์พื้นฐานพกพา PCT ข้อมูลที่ส่งมายัง PCT Server ก็จะถูกส่งไปตรวจสอบยัง HLR ว่าเป็นผู้เช่าที่ถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้องก็จะส่งมายัง PCT Server ให้ทำการเรียกหาใน Paging Area ต่างๆ จนสามารถเรียกเครื่องลูกข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพา PCT ได้

3.9 ความถี่ที่ใช้สำหรับโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT

สามารถดูได้จากตารางที่ 3.1 ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มของความถี่ที่ใช้สำหรับส่วนบุคคล เช่น การใช้งานในลักษณะอินเตอร์คอม คือเรียกโดยตรงระหว่างเครื่อง PS ด้วยกัน โดยไม่มีเซลสเตชั่น เข้ามาเกี่ยวข้องแต่อย่างใด โดยใช้ความถี่ในช่องที่ 1-10 ส่วนการใช้ในลักษณะส่วนบุคคลภายในสำนักงานหรือที่อยู่อาศัยต่างๆ ในรูปแบบของ Wireless PABX จะใช้ได้ตั้งแต่ช่องที่ 11 ถึงช่องที่ 37 โดยมีช่องควบคุมในช่องที่ 12, 18, 30 และ 36 ตามลำดับ อีกกลุ่มหนึ่งเป็นความถี่ที่ใช้สำหรับสาธารณะ คือตั้งแต่ช่องที่ 38 ถึงช่องที่ 77 โดยมีช่องความถี่สำหรับการควบคุมในช่องที่ 70-77 นั่นก็หมายความว่าในประเทศหนึ่งๆ นั้นจะสามารถให้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT ได้ถึง 7 ผู้ให้บริการ



รูปที่ 3.16 แสดงเส้นทางการเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออก

3.10 การข้ามเซลของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT

ในรูปแบบของการแฮนด์โอเวอร์ (Handover) เนื่องจากเซลในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT มีขนาดเล็กมาก อยู่ในขนาดของไมโครเซล คือมีรัศมีครอบคลุมการใช้งานใน 1 เซล ประมาณ 300 ถึง 400 เมตรเท่านั้น การสื่อสารในรูปแบบของการเคลื่อนที่จากเซลหนึ่งไปอีกเซลหนึ่ง จะไม่สามารถใช้เทคนิคของการแฮนด์ออฟ (Handoff) เช่นในโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

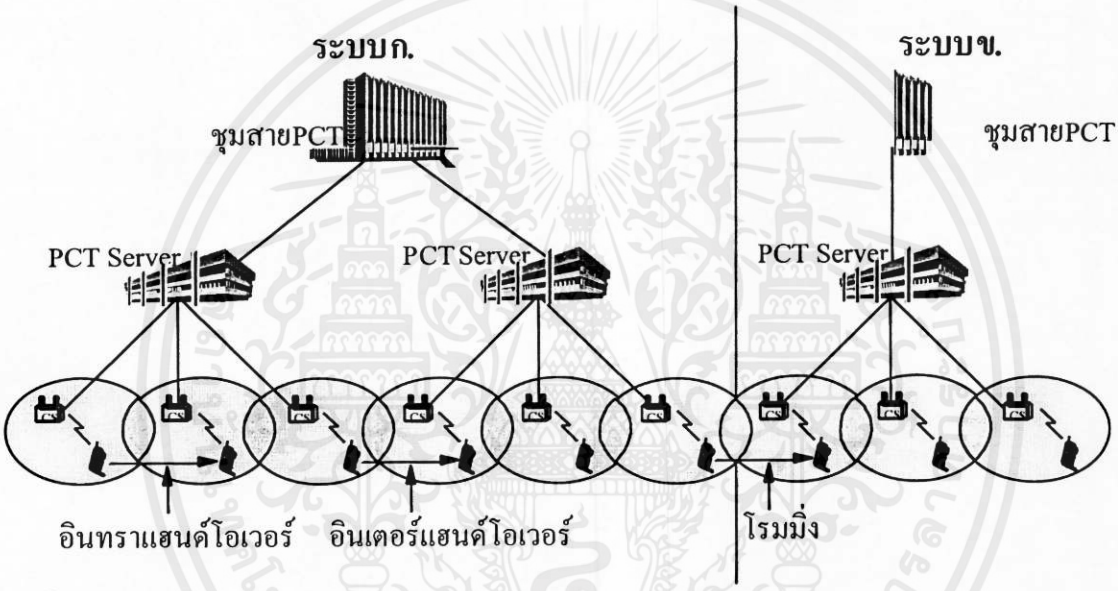
ตารางที่ 3.1 การใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT

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

ทั่ว ๆ ไปได้ เพราะเทคนิคของการแฮนด์ออฟนั้นจำเป็นที่จะต้องส่งถ่ายข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์จากเซลหนึ่งไปอีกเซลหนึ่ง เพื่อจัดเตรียมช่องสัญญาณเอาไว้รองรับล่วงหน้า ซึ่งจะใช้เวลาในการถ่ายโอนข้อมูลพอสมควร ในกรณีที่เซลมีขนาดเล็ก เช่น ในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT นั้น จะไม่มีเวลาในการถ่ายโอนข้อมูลอย่างเพียงพอ ดังนั้นในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT จึงนำกระบวนการแฮนด์โอเวอร์มาใช้ ซึ่งมีการทำงานแบบย่อๆ คือ เมื่อสัญญาณที่รับได้จากเครื่อง PS มีระดับสัญญาณต่ำในระดับ 25 dBμV เครื่อง PS ก็จะทำการตรวจสัญญาณจากเซลข้างเคียง และเลือกเซลที่มีสัญญาณแรงที่สุด แต่ในกรณีที่ช่องสัญญาณเต็มก็จะเลือกเซลที่สัญญาณแรงเป็นอันดับ 2 เมื่อหาเซลที่มีสัญญาณแรงได้แล้ว ก็จะยกเลิกการสื่อสารในเซลเดิมและจับช่องสัญญาณเพื่อทำการสื่อสารในเซลใหม่ทันที ในช่วงเวลาที่เปลี่ยนเซลนี้ เครื่อง PS จะส่งสัญญาณควบคุมไปจับช่องสัญญาณควบคุมในเซลใหม่ไว้ โดยไม่สนใจการติดต่อสื่อสารในช่วงเวลานั้น ผู้ที่ใช้เครื่อง PS อยู่จะไม่มีเสียงการสนทนาหรือที่เรียกว่า Muting เป็นเวลาประมาณ 2-3 วินาที ดังนั้นในการใช้โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT นั้น จะใช้ได้อย่างมีคุณภาพดีเยี่ยมในกรณีที่ใช้แบบอยู่กับที่หรือมีการเคลื่อนที่ช้าเท่านั้น ถ้ามีการเคลื่อนที่อย่างเร็ว เช่น อยู่ในรถยนต์ ผู้ใช้ก็อาจจะรำคาญในเรื่องของคุณภาพเสียงที่มีขาดช่วงในขณะที่มีการข้ามเซล ซึ่งโดยทั่วไปจะสามารถใช้ความเร็วได้ประมาณไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเท่านั้น รูปแสดงการแฮนด์โอเวอร์สามารถดูได้จากรูปที่ 3.17 โดยแบ่งลักษณะของการแฮนด์โอเวอร์ออกเป็น 3 รูปแบบคือ อินทราแฮนด์โอเวอร์ ที่เป็นการข้ามเซลในกลุ่มของ PCT Server เดียวกัน แบบที่ 2 เป็นแบบอินเตอร์แฮนด์โอเวอร์ ที่เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การข้ามเซลใน PCT Server ที่ต่างกัน และในแบบที่ 3 เป็นการโรมมิ่ง (Roamming) คือการข้ามเซลในระบบ PCT ที่ต่างผู้ให้บริการกัน สำหรับในประเทศไทยปัจจุบันมีให้บริการรายเดียวคือ บริษัท เทเลคอมเอเชีย จำกัด จึงไม่มีการโรมมิ่ง ซึ่งในการข้ามเซลด้วยวิธีการแฮนด์โอเวอร์แต่ละแบบนั้นจะใช้เวลาไม่เท่ากัน โดยจะสังเกตได้จากการเกิดการ Muting ขณะที่ส่งสัญญาณควบคุมในการข้ามเซลโดยประมาณ 2, 3 และ 4 วินาทีตามลำดับ ดังนั้นการออกแบบหรือการวางเซลในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวางรูปแบบของเซลให้มีลักษณะบังคับให้การข้ามเซลอยู่ในกลุ่มเซลของ PCT Server เดียวกัน เพื่อลดเวลาในการ Muting ให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

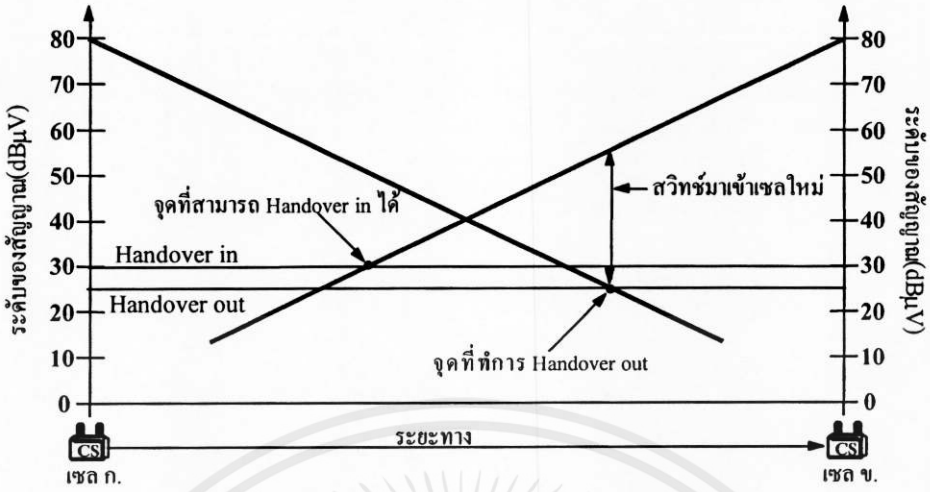


รูปที่ 3.17 การแฮนด์โอเวอร์

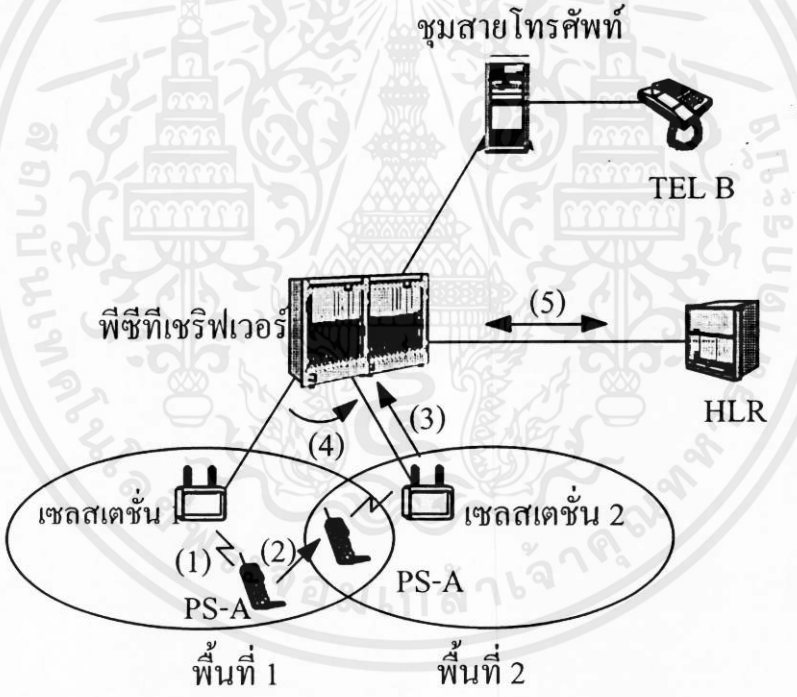
ในการแฮนด์โอเวอร์นั้นจะใช้ระดับของสัญญาณเป็นตัวกำหนด ระดับของสัญญาณที่เครื่อง PS เริ่มทำการแฮนด์โอเวอร์ เราเรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์เอาท์ (Handover out)และระดับสัญญาณของอีกเซลหนึ่งที่มารองรับการแฮนด์โอเวอร์เข้ามาในเซลใหม่ เรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์อิน (Handover in) ดังรูปที่ 3.18

การแฮนด์โอเวอร์ คือ การพยายามให้ผู้ใช้บริการได้ใช้ช่องสัญญาณที่ดีที่สุดและสามารถทำการติดต่อได้อย่างต่อเนื่อง แม้ว่าผู้ใช้บริการจะมีการเคลื่อนที่จากเซลหนึ่งไปยังเซลอื่นๆ โดยลำดับขั้นตอนของการแฮนด์โอเวอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 3.19 เมื่อเครื่องลูกข่ายมีการเคลื่อนที่จากเซลเดิมไปยังเซลใหม่ ก็จะส่งสัญญาณผ่านเซลสเตชั่นเดิมไปยัง PCT เซิร์ฟเวอร์ เพื่อระบุตำแหน่งใหม่ของตัวเครื่อง ส่วนของเซลสเตชั่นใหม่ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องลูกข่าย โดยอาศัยฐานข้อมูลใน PCT เซิร์ฟเวอร์ และทำการยืนยันตำแหน่งใหม่ของเครื่องลูกข่าย ในกรณีที่มีการจดทะเบียนกับผู้ให้บริการอย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 แสดงระดับของสัญญาณที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ข้ามเซลหนึ่งไปอีกเซลหนึ่ง



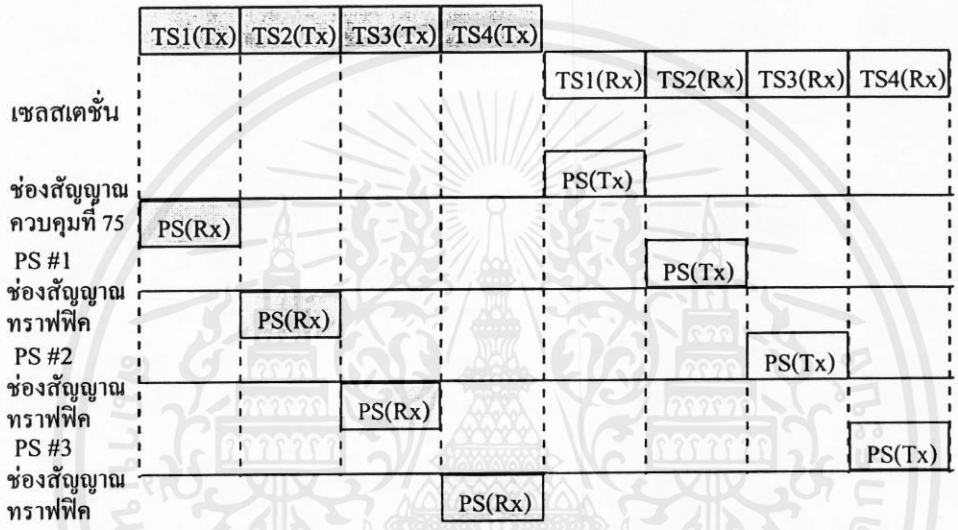
รูปที่ 3.19 ลำดับขั้นตอนของการแฮนด์โอเวอร์

3.11 การเชื่อมต่อกับโครงข่าย (Network Interface)

การเชื่อมต่อระหว่างเซลสเตชั่นกับโครงข่าย เซลสเตชั่นจะต่อกับ PCT เซริฟเวอร์และชุมสาย PSTN ผ่านคู่สาย ISDN แบบ BRI โดยเซลสเตชั่น 1 เซลจะใช้คู่สาย ISDN แบบ BRI 2 คู่สาย ต่อกับ PCT เซริฟเวอร์โดยจะใช้งานช่องสัญญาณ B 3 ช่องสัญญาณในการติดต่อสื่อสารสัญญาณเสียงและข้อมูล ส่วนช่องสัญญาณ B 1 ช่องที่เหลือจะใช้ในการบริการสถานีลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อเซลสเตชั่นกับเครื่องลูกข่าย เป็นการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ ที่ใช้ข้อกำหนดตามมาตราฐาน RDR STD 28 ใช้ในย่านความถี่ 1895-1918 MHz โดยใช้หลักการ A/D เข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบอะแด็ปทีฟดิฟเฟอเร้นท์เชียลที่ความเร็ว 32 kpbs ใช้วิธีการมอดูเลทที่มีการเลื่อนเฟสของข้อมูลไป 90 องศา ($\pi/4$ QPSK : Quadrature Phase Shift Keying) และใช้เทคนิคการทำงานแบบแบ่งเวลา (TDMA: Time Division Multiple Access) แบบหลายความถี่ โดยจะแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 4 ช่อง และใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (TDD: Time Division Duplex) ดังแสดงในรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 วิธีการทำงานโดยใช้หลักการแบบแบ่งเวลา

3.12 โครงสร้างของช่องสัญญาณ (Function Channel Structure)

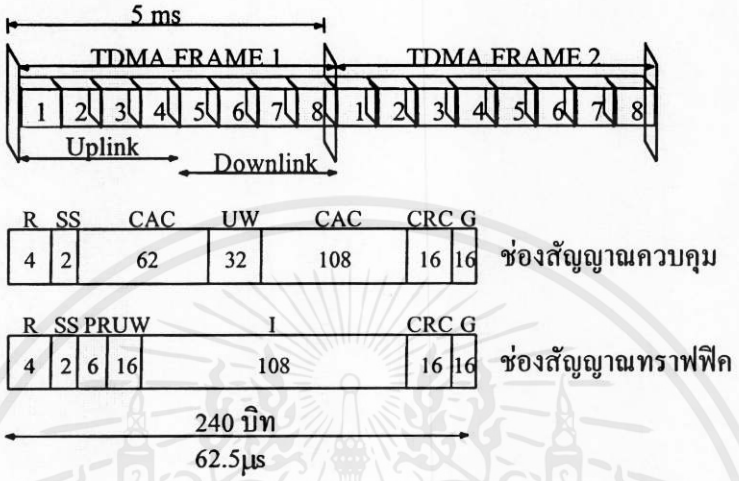
ในการใช้งานผู้ใช้บริการหนึ่งคนจะใช้หนึ่งช่องเวลาในหนึ่งความถี่ วิธีการแบบแบ่งเวลาจะแบ่งความถี่ออกเป็น 1-8 ช่องเวลา เรียกว่า TDMA Frame โดยแบ่งเป็น 2 แถบความถี่คือแถบความถี่ขาขึ้นในช่องสัญญาณที่ 1 ถึง 4 สำหรับการส่งสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายไปยังเซลสเตชั่น และแถบความถี่ขาลงในช่องสัญญาณที่ 5 ถึง 8 สำหรับการส่งสัญญาณจากเซลสเตชั่นไปยังเครื่องลูกข่าย เมื่อมีการเรียกจากเครื่องลูกข่ายก็จะมีการจับช่องสัญญาณช่องหนึ่งสำหรับการส่ง ด้านรับก็จะถูกจองโดยอัตโนมัติ 1 ช่องสัญญาณจนจบการเรียกและมีการเปลี่ยนช่องสัญญาณการใช้งานเมื่อมีการแฮนด์โอเวอร์ โดยโครงสร้างของช่องสัญญาณฟิสิกคอลในรูปที่ 3.21

3.12.1 ช่องสัญญาณทราฟฟิค (TCH : Traffic Channel) คือ ช่องสัญญาณ TDMA หรือช่องสัญญาณที่ใช้สำหรับการส่งสัญญาณเสียง หรือข้อมูลอื่นๆ

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.12.2 ช่องสัญญาณควบคุม (CCH : Control Channel) คือ ช่องสัญญาณที่ใช้ในการส่งสัญญาณควบคุมการเรียกของช่องสัญญาณทราฟฟิค โดยแบ่งออกเป็น 3 ช่องสัญญาณย่อย ได้แก่

3.12.2.1 ช่องสัญญาณในการควบคุมการกระจายสัญญาณ (BCCH : Broadcast Control Channel) คือ ช่องสัญญาณที่ส่งจากเซลสเตชั่นไปยังเครื่องลูกข่ายทุกเครื่อง ในลักษณะของการกระจายเสียง เพื่อส่งข้อมูลที่เกี่ยวกับโครงสร้างของช่องสัญญาณ หรือข้อมูลของระบบ



รูปที่ 3.20 วิธีการทำงานโดยใช้หลักการแบบแบ่งเวลา

3.12.2.2 ช่องสัญญาณควบคุมร่วม (CCCH : Common Control Channel) คือ ช่องสัญญาณที่ส่งข้อมูลในการควบคุมสำหรับการเรียกที่จะเกิดขึ้นในแต่ละครั้ง โดยแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณย่อยๆ 2 ช่อง คือ ช่องสัญญาณในการเรียก (PCH : Paging Channel) คือ ช่องสัญญาณที่ส่งจากเซล สเตชั่นไปยังเครื่องลูกข่าย เพื่อแสดงให้เครื่องลูกข่ายทราบว่ามีการเรียกจากภายนอกเข้ามายังเครื่องลูกข่ายนั้น ช่องสัญญาณย่อยส่วนที่ 2 คือ ช่องสัญญาณควบคุม (SCCH : Signaling Control Channel) คือ ช่องสัญญาณที่ใช้ส่งสัญญาณต่างๆที่จำเป็นในการเรียกที่เกิดขึ้นระหว่างเซลสเตชั่น กับเครื่องลูกข่าย โดยที่ตำแหน่งของช่องสัญญาณควบคุมในทิศทางของแถบความถี่ขาลงนั้นจะมีตำแหน่งที่แน่นอน แต่ตำแหน่งของช่องสัญญาณควบคุมในทิศทางของแถบความถี่ขาขึ้น จะมีตำแหน่งที่ไม่แน่นอน

3.12.2.3 ช่องสัญญาณควบคุมร่วม (ACCH : Associated Control Channel) คือ ช่องสัญญาณที่ใช้ส่งข้อมูลในการควบคุมสำหรับการเรียกแต่ละครั้ง ที่เกิดขึ้นระหว่างเซลสเตชั่นและเครื่องลูกข่าย โดยที่การส่งช่องสัญญาณควบคุมร่วมนั้นจะเกี่ยวข้องกับการส่งช่องสัญญาณทราฟฟิค (TCH) กล่าวคือ หากช่องสัญญาณควบคุมร่วมส่งไปพร้อมกับข้อมูล จะเรียกว่า ช่องสัญญาณนี้ว่าช่องสัญญาณควบคุมร่วมแบบช้า (SACCH : Slow Associated Control Channel) ในกรณีที่ช่องสัญญาณควบคุมร่วมถูกส่งแยกต่างหากจากข้อมูล จะเรียกว่า ช่องสัญญาณนี้ว่า ช่องสัญญาณควบคุมร่วมแบบเร็ว (FACCH : Fast Associated Control Channel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.13 การพัฒนาระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT ในอนาคตและการบริการรูปแบบใหม่

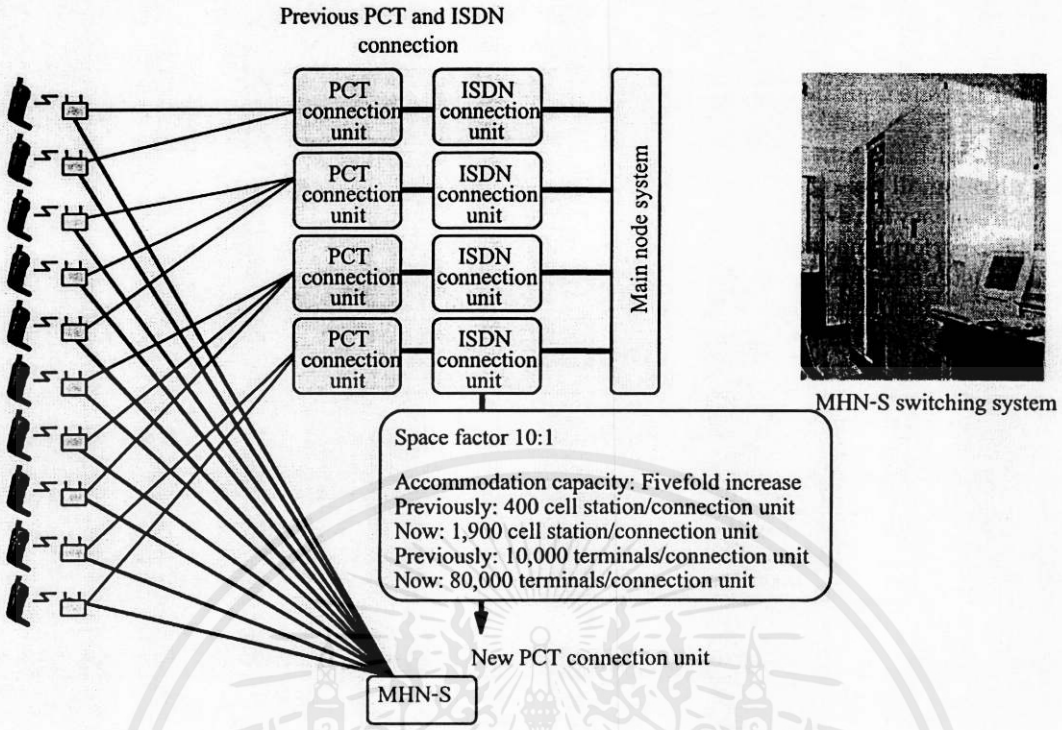
ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT นั้น เป็นการสื่อสารระบบดิจิตอล ตั้งแต่เครื่องลูกข่าย PCT ไปจนถึงชุมสาย และโครงข่ายการบริหาร ซึ่งระบบดิจิตอลนั้น เป็นระบบที่ให้ความปลอดภัยในเรื่องของการดักฟังที่ไม่สามารถกระทำได้ โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT มีการเชื่อมต่อระหว่าง CS และ PCT Server จะเป็นสายในระบบ ISDN ที่มีช่องสัญญาณ 3 ช่อง คือ 2B+D โดย B นั้นจะเป็นช่องสัญญาณเสียงที่สามารถบรรจุข้อมูลจาก PCT ได้ 2 เครื่องในเวลาเดียวกัน ดังนั้น 2B จึงได้ 4 ช่องสัญญาณเสียง ส่วน D เป็นช่องสัญญาณควบคุมแบบดิจิตอล และในการถ่ายเทข้อมูลนั้น เมื่อมีการโทรออกจาก PCT เครื่องหนึ่งไปยัง PCT อีกเครื่องหนึ่ง สัญญาณที่ส่งจาก PCT จะผ่านไปยัง PCT Server และต่อเข้าไปยังชุมสาย เพื่อแปลความหมายเลขที่ต้องการติดต่อ และทำการเรียกหา (Paging) ออกไปยัง Server ต่างๆ เพื่อหา PCT ที่ถูกเรียก ดังนั้นการใช้งานโดยปกติของ PCT นั้น จึงต้องใช้เวลาในการเรียกหา หรือในการถ่ายโอนข้อมูลจาก Server หนึ่งไปยังอีก Server หนึ่ง ประมาณเกือบ 1 วินาที ยิ่งมีการใช้งานข้ามเซลมากๆ หรือบ่อยๆการทำงานของ Server ก็จะหนักมากขึ้น และเป็นสาเหตุหนึ่งของการใช้งานสำหรับยานยนต์ที่ความเร็วสูงมากไม่ได้ ดังนั้นในการพัฒนาระบบ PCT สำหรับอนาคตนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.22 จึงอาจใช้โครงสร้างของโครงข่ายที่แตกต่างไปจากปัจจุบัน โดยสามารถสร้างเป็นโหนด หรือจุดต่อเชื่อมสำหรับสถานีฐานของ PCT แล้วเชื่อมโยงโดยตรงกับระบบ ISDN ซึ่งถือเป็นระบบหลัก สำหรับการใช้งาน PCT ในอนาคต โดยตามโครงสร้างใหม่นี้ จะสามารถต่อสถานีฐานได้ถึง 10,000 เซลต่อหนึ่งจุดเชื่อมต่อ และสามารถขยายได้ถึง 80,000 เซลต่อจุดเชื่อมต่อในอนาคต ซึ่งถือว่ามีความจุมากพอสมควร

ส่วนการให้บริการสำหรับระบบมัลติมีเดียนั้น จะใช้ MHN-S (MHN-S: Multimedia Handling Nodes for providing PHS Service) เป็นจุดต่อเชื่อมโยงระหว่างสถานีฐานโดยที่มีความเร็วในการส่งข้อมูล 64 kb/s และใช้เทคนิคต่างๆ ดังนี้

1)สัญญาณที่ส่งรับระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเซลสเตชั่นได้พัฒนาให้ใช้แฟ็กซ์โมเด็มที่มีความเร็ว 2.4 ถึง 4.8 kb/s สำหรับการส่งข้อมูลที่มีความเร็วต่ำ และใช้ความเร็ว 32 ถึง 64 kb/s สำหรับข้อมูลและภาพ

2) ระบบการแก้ไขความผิดพลาดของสัญญาณด้วยวิธีการ FEC (FEC: Forward Error Correction) และระบบ ARQ (ARQ: Automatic Repeat Request) โดยการทำพร้อมๆกัน ในกรณีที่มีการโต้ตอบกัน 2 ทิศทาง และถ้าผลัดกันโต้ตอบก็จะใช้เทคนิค SW-ARQ (SW-ARQ: Stop and Wait-ARQ) ซึ่ง 2 วิธีนี้จะทำให้สามารถส่งสัญญาณด้วยความเร็ว 28.8 kb/s ตามมาตรฐานของ V.34 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



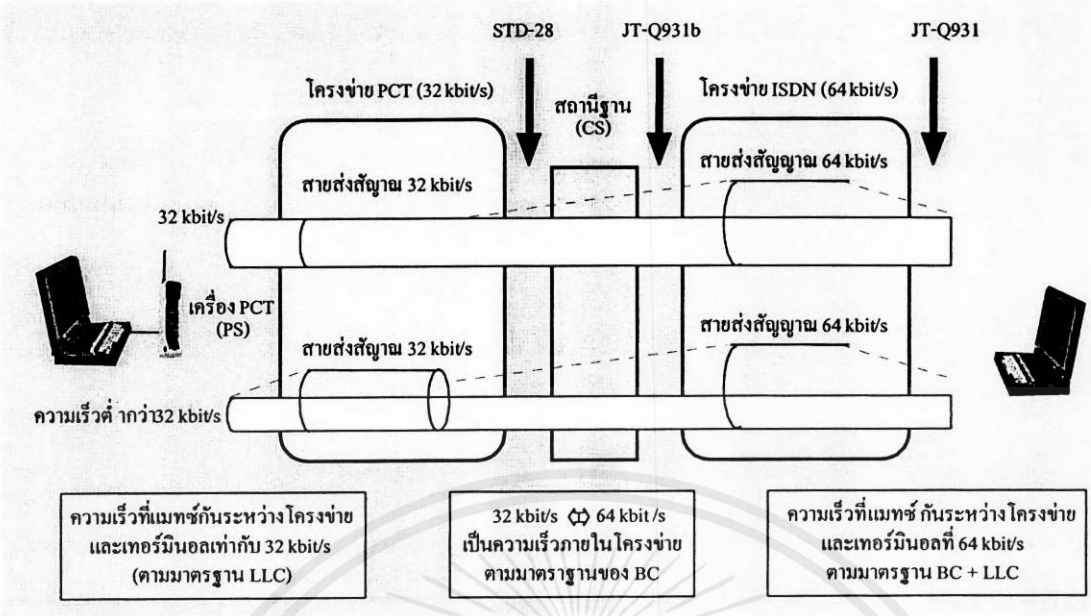
รูปที่ 3.22 แสดงการพัฒนาโครงข่าย PCT

3)ใช้การส่ง-รับข้อมูลในรูปของแพ็คเก็ตตามมาตรฐาน RCR STD 28 (RCR STD 28: Radio Communication Regulation Standard number 28) ซึ่งถูกพัฒนาให้เป็นมาตรฐานของญี่ปุ่นเองเรียกว่า JT-Q.931-b หรืออีกนัยหนึ่งก็คือ มาตรฐานการส่งสัญญาณของ ISDN นั่นเอง

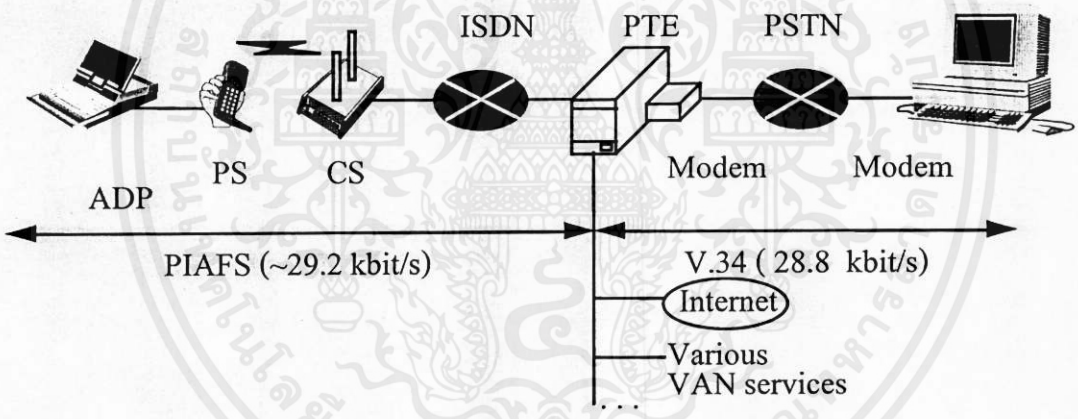
จากเหตุผลทั้ง 3 ประการนี้ทำให้ PCT นั้น เมื่อต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อหาทำงานเป็น PCT Terminal ก็จะสามารถให้บริการในรูปแบบของมัลติมีเดียได้ด้วยการปรับช่องสัญญาณตามมาตรฐานต่างๆดังในรูปที่ 3.23 และเป็นที่น่าสังเกตว่าการทำงานตามมาตรฐานเหล่านี้ จะถูกยกเป็นมาตรฐานใหม่เรียกว่า PIAFS (PIAFS: PHS Internet Access Forum Standard) โดยสามารถใช้ PCT ร่วมกับคอมพิวเตอร์ให้บริการมัลติมีเดียได้ และในเวลาเดียวกันก็จะสามารถให้บริการอินเทอร์เน็ตที่มีอยู่ได้ และที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือมาตรฐานใหม่ของ PIAFS นี้ถูกกำหนดให้สามารถใช้ความเร็วใหม่ตามมาตรฐาน V.42 bis ที่มีความเร็วสูงสุดถึง 115 kb/s ซึ่งเป็นความเร็วสูงมาก

โครงสร้างในการให้บริการมัลติมีเดีย จะเป็นตามรูปที่ 3.24 ด้วยการใช้ Notebook Computer ร่วมกับ PCT ทำหน้าที่เป็นเทอร์มินอลและส่งสัญญาณ ADPCM (ADPCM: Adaptive Differential PCM) ตามมาตรฐานของ PIAFS ด้วยความเร็ว 29.2 kb/s (ความเร็วที่เพิ่มขึ้นมาจาก 28.8 kb/s นั้นเป็นส่วนของสัญญาณควบคุมแพคเก็ต) ส่งเข้ามายังสถานีฐาน CS ที่ต่อเชื่อมกับโครงข่าย ISDN โดยมี PCE (PCE: Protocol Conversion Equipment) เป็นตัวเชื่อมสำหรับการให้บริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 แสดงมาตรฐานของช่องสัญญาณสำหรับข้อมูลในระบบ PCT

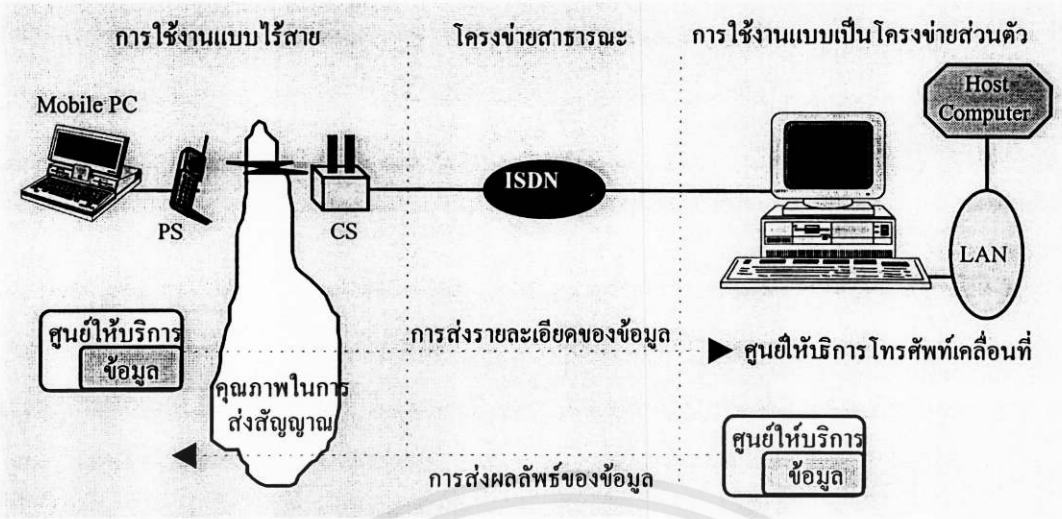


รูปที่ 3.24 แสดงโครงข่ายที่ทดลองระบบมัลติมีเดียกับ PCT

อื่นๆ เช่น อินเทอร์เน็ต LAN และ VAN เป็นต้น การเชื่อมของ PTE นี้จะเป็นเสมือนศูนย์กลางของโครงข่ายทั้งหมด

ในขณะเดียวกันการพัฒนาโครงข่าย PCT ให้สามารถใช้ความเร็วของสัญญาณให้สูงทำให้สามารถใช้งานเฉพาะอย่างได้อย่างดียิ่ง เช่นในเรื่องของการใช้งานในลักษณะโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือ Wireless Local Loop ที่มีความเร็วสูง และใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ดังในรูปที่ 3.25 ซึ่งจะใช้โครงข่ายคอมพิวเตอร์ร่วมในการให้บริการรูปแบบอื่นๆด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 แสดงโครงข่ายของการสื่อสารไร้สายสำหรับการให้บริการเฉพาะอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีการวางเซลสเตชั่นในอาคารของโทรศัพท์ไร้สาย

ในการให้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT พื้นที่ครอบคลุมของเซลเป็นสิ่งที่สำคัญในลำดับต้นๆ เนื่องจากการที่เซลของระบบโทรศัพท์พกพา PCT นี้เป็นเซลที่มีขนาดกำลังส่งน้อย ซึ่งเป็นเทคโนโลยีของระบบการสื่อสารส่วนบุคคลในอนาคต ดั้งนั้นเมื่อเซลมีขนาดกำลังส่งน้อยดังนั้นพื้นที่ครอบคลุมก็มีขนาดเล็กทำให้การวางเซลสเตชั่นต้องมีจำนวนมากและทั่วถึงเพื่อครอบคลุมทุกพื้นที่ที่ต้องการให้บริการ ในการออกแบบวางเซลสเตชั่นนั้นหลักการแพร่กระจายคลื่นเป็นสิ่งที่นำมาหาขอบเขตของเซลสเตชั่นได้ ซึ่งสัญญาณที่แพร่กระจายออกไปจากเซลสเตชั่นจะเกิดการลดทอนได้หลายรูปแบบเช่น เกิดการลดทอนเนื่องจากระยะทางโดยที่ระยะทางมากขึ้นการลดทอนก็เพิ่มขึ้น เกิดการลดทอนเนื่องจากสิ่งกีดขวางต่างๆเช่น อาคารสิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ หรือสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ นอกจากนี้การลดทอนของสัญญาณยังเกิดจากการสะท้อนของคลื่นในมุมที่ทำให้เฟสหักล้างกัน เป็นต้น ดังนั้นหลักการแพร่กระจายคลื่นเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบการวางเซลสเตชั่น

4.1 หลักการแพร่กระจายคลื่น

ในการสื่อสารของโทรศัพท์ไร้สายโดยการสื่อสารทางคลื่นวิทยุ ซึ่งใช้การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในอากาศ ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะเป็นค่าส่วนกลับกำลังสองกับระยะทางตามทฤษฎีของ Inverse-square law ถ้ากำหนดการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นลักษณะรอบทิศทาง โดยเครื่องส่งมีกำลังงานที่ส่งออกไป P_t การแพร่กระจายรอบทิศทางสามารถพิจารณาเป็นลักษณะของวงกลมรอบๆ แหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีรัศมีเป็น ds = differential of surface จึงทำให้กำลังงานที่จุดใดๆ สามารถเทียบได้กับพื้นที่ส่วนเล็กๆ (A) ของพื้นผิวทรงกลม ค่าความหนาแน่นของกำลังงานจะเท่ากับ

$$P_t = P_r(\theta, \phi)ds \tag{4.1}$$

โดยที่ P_r เป็นกำลังที่เครื่องรับได้ต่อ หนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งมีความสัมพันธ์รูปแบบปกติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำหนดโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_r(\theta, \phi) = \left[\frac{E^2_{\theta n}(\theta,\phi) + E^2_{\phi n}(\theta,\phi)}{Z_0}\right] \tag{4.2}$$

เมื่อ

$$E_{\theta n}(\theta,\phi) = \frac{E_\theta(\theta,\phi)}{E_\theta(\theta,\phi)_{\max}} \tag{4.3}$$

$$E_{\phi n}(\theta,\phi) = \frac{E\phi(\theta,\phi)}{E\phi(\theta,\phi)_{\max}} \tag{4.4}$$

Z_0 = ค่าอิมพรีแดนซ์ 377.752 Ω

$E_\theta(\theta,\phi)_{\max}$ และ $E_\phi(\theta,\phi)$ คือค่าสูงสุดของสนามไฟฟ้าในมุมของ θ และ ϕ

ถ้ากำหนดให้สายอากาศเป็นแบบไอโซโทรปิค และพื้นผิวการแพร่กระจายคลื่นเป็นทรงกลมดังแสดงในรูปที่ 4.1 ดังนั้นกำลังที่เครื่องรับได้รับ

$$P_t = r^2 \int_0^{2\pi}\int_0^{2\pi} P_r(\theta,\phi)\sin\theta d\theta d\phi \tag{4.5}$$

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

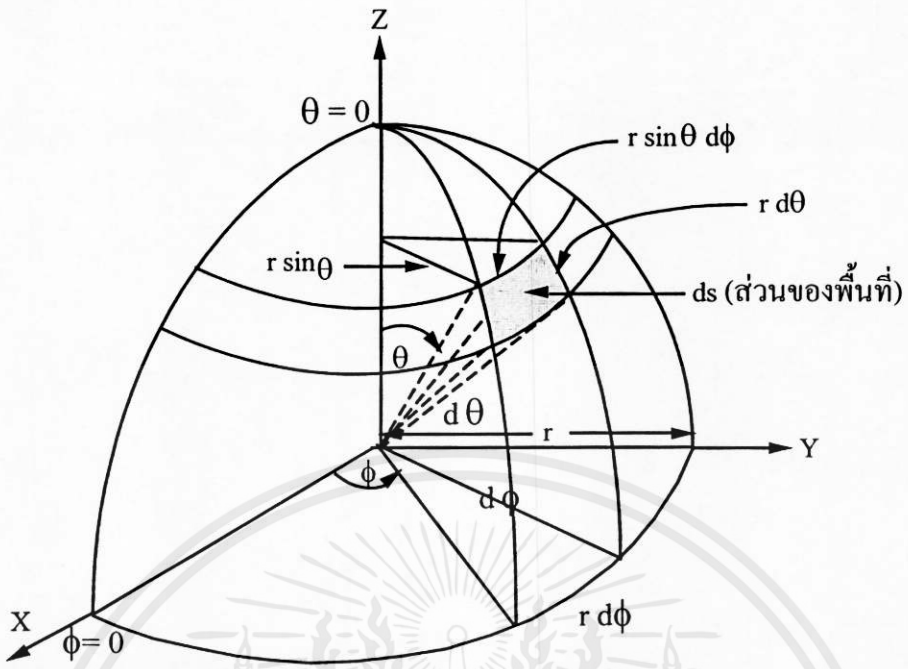
$$P_r = \frac{P_t}{4\pi r^2} \tag{4.6}$$

โดย $4\pi r^2$ คือ พื้นที่ของการกระจายคลื่นซึ่งเป็นรูปวงกลมและมีรัศมี r

สมมุติให้ G_t คืออัตราการขยายกำลังของสายอากาศจากเครื่องส่ง ดังนั้นความหนาแน่นของกำลังงานในทิศทางของการแพร่กระจายจะได้เป็น

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi r^2} \tag{4.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิค

ส่วนทางด้านสายอากาศของเครื่องรับก็จะติดตั้งในทิศทางที่สามารถรับสัญญาณได้สูงสุด สมมุติให้ P_r คือกำลังงานที่สายอากาศของเครื่องรับได้รับ ในกรณีเช่นนี้สายอากาศจะใช้พื้นที่ในการรับสัญญาณ ดังนั้นค่ากำลังงานที่รับได้จะมีค่าเป็น

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi r^2} \quad \text{X พื้นที่ในการรับสัญญาณ} \tag{4.8}$$

ในสายอากาศใดๆ ก็ตาม อัตราส่วนของการขยายสูงสุดต่อพื้นที่รับสัญญาณ คือ

$$\frac{\text{พื้นที่ในการรับสัญญาณ}}{G_r} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \tag{4.9}$$

กำหนดให้ λ คือความยาวคลื่นของคลื่นที่แพร่กระจาย ถ้า G_r คืออัตราการขยายกำลังของสายอากาศรับได้ดังสมการการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของฟรีอิส (Friis free-space equation) ดังนี้

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 r^2 L} \tag{4.10}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย P_t เป็นกำลังงานในการส่งสัญญาณ

P_r เป็นกำลังงานในการรับสัญญาณ

G_t เป็นเกนของสายอากาศส่ง

G_r เป็นเกนของสายอากาศรับ

r เป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งในหน่วยกิโลเมตร

L เป็นการลดทอนของระบบ (L > 1)

และ λ เป็นความยาวคลื่นในหน่วยเมตร

ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังงานที่ได้รับ จะแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งยกกำลังสองและแปรผกผันกับความถี่ยกกำลังสองอีกด้วย ซึ่งถ้าระยะทางหรือความถี่เพิ่มขึ้น 2 เท่า จะทำให้กำลังงานที่ได้รับน้อยลง 4 เท่าจากค่าเดิม โดยสมการการลดทอนเนื่องจากระยะทาง (Path Loss) ในหน่วยเดซิเบล กำหนดได้โดย

$$L = -10 \log \frac{P_r}{P_t} = -10 \log \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 r^2 L} \quad (4.11)$$

$$\left(\frac{P_r}{P_t}\right)_{dB} = (G_t)_{dB} + (G_r)_{dB} - (32.44 + 20 \log r + 20 \log f) \quad (4.12)$$

ถ้าอัตราส่วนของกำลังงานที่รับได้กับกำลังงานที่ส่ง (โดยใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิค ค่าอัตราการขยายกำลังของ G_r และ G_t จะมีค่าเท่ากับ 1) จะเป็นค่าการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น (L) ดังนั้นจะได้

$$L = -10 \log \frac{P_r}{P_t} = 20 \log \left[\frac{4\pi r}{\lambda}\right] \quad (4.13)$$

แทนค่าความสัมพันธ์ $\lambda = f/c$ (โดย c คือความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s) จะได้สมการการลดทอนเป็น

$$L = 32.44 + 20 \log d + 20 \log f \quad (4.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การแพร่กระจายคลื่นในอาคาร

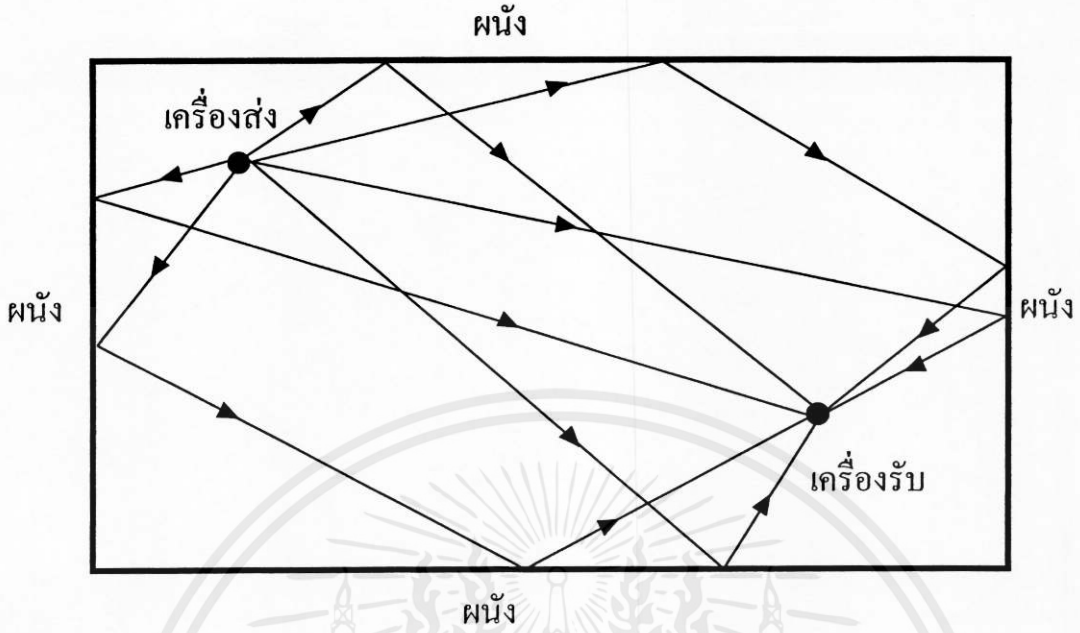
สำหรับกลไกการแพร่กระจายคลื่นจะมีรูปแบบของอิเล็คทรอแมคนาติกอยู่หลายส่วนแต่สิ่งที่เป็นพื้นฐานมีอยู่ด้วยกัน 3 อย่างคือ การสะท้อน การหักเหและการกระเจิง ซึ่งสัญญาณที่ส่งจากเครื่องส่งเมื่อไปถึงเครื่องรับไม่มีเส้นตรงในแนวสายตาเพียงทางเดียวแต่จะมีสัญญาณจากหลายทิศทางเข้ามายังเครื่องรับ เนื่องจากสัญญาณเกิดการสะท้อนกับสิ่งแวดล้อมต่างๆ เช่น ผนังอาคาร สิ่งของเครื่องใช้ คน ซึ่งระยะทางและทิศทางที่สัญญาณที่ไปยังเครื่องรับนั้นต่างกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณในช่วงสั้นๆ (Short term median value) นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัญญาณเนื่องจากมาระยะทางจากเครื่องรับกับเครื่องส่งที่เปลี่ยนไปซึ่งเราเรียกว่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในระยะเวลายาว (Long term median value) โดยเราสามารถวัดระดับสัญญาณได้จากการลดทอนของสัญญาณ (Path loss) จะพบว่าค่าการลดทอนของดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างเซลสเตชั่น และเครื่องลูกข่าย สำหรับระดับสัญญาณภายในอาคารไม่ได้รับผลกระทบที่ทำให้เกิดการลดทอนเนื่องจากสิ่งแวดล้อมจากภายนอก เช่น หิมะ ฝน ลูกเห็บต่างๆ หรืออุณหภูมิ แต่จะได้รับผลกระทบจาก ขนาดรูปร่าง โครงสร้าง ของอาคาร รวมถึงลักษณะการจัดวางสิ่งของภายในห้องต่างๆ และที่มีความสำคัญมากคือ วัสดุที่นำมาสร้างอาคาร โดยการแพร่กระจายคลื่นภายในอาคารนั้น เครื่องรับสัญญาณจะได้รับสัญญาณจากหลายทิศทางหรือเกิดมัลติพาร์ท มากยิ่งกว่าการแพร่กระจายคลื่นของโทรศัพท์มือถือทั่วๆไปภายนอกอาคาร เพราะในอาคารมีความหนาแน่นของสิ่งแวดล้อมมากกว่า

ระบบการแพร่กระจายสัญญาณในอาคารจะมีการติดตั้งเซลสเตชั่นในตำแหน่งที่คงที่ โดยติดตั้งในตำแหน่งบนเพดานของแต่ละชั้นอาคาร ซึ่งจำนวนขึ้นอยู่กับขนาดอาคารและจำนวนของผู้ใช้งานในอาคารนั้น ซึ่งสัญญาณจะเกิดการสะท้อน หักเห และแตกกระเจิง จากการกระทบโครงสร้างภายในของอาคาร โดยสัญญาณจากตัวส่งที่มาถึงตัวรับจะมีมากกว่า 1 เส้นทาง ซึ่งเรียกว่า มัลติพาร์ทเฟดดิ้ง(Multi Path Fading) ดังแสดงในรูปที่ 4.2

4.2.1 การสะท้อนของสัญญาณ

เมื่อคลื่นสัญญาณมีการแพร่กระจายมาตกกระทบผนังหรือสิ่งกีดขวางโดยที่มีค่าคงที่ได อิเล็กทริกแตกต่างกัน คลื่นส่วนหนึ่งจะมีการสะท้อนกลับ และคลื่นอีกส่วนหนึ่งจะเคลื่อนที่ทะลุผ่านไป ซึ่งสัญญาณที่ถูกส่งผ่านหรือสะท้อนกลับ ระดับสัญญาณจะถูกลดทอนลงและเกิดการเปลี่ยนเฟส โดยขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์ของการส่ง (Complex Transmission) และสัมประสิทธิ์ของการสะท้อน (Reflection Coefficients) ซึ่งได้การคำนวณจากค่าที่สามารถยอมรับได้ (Complex Permittivity) ของวัสดุที่สัญญาณไปตกกระทบ นอกจากนี้ยังมีแฟคเตอร์อื่นๆอีกที่มีผลกระทบต่อการสะท้อนของสัญญาณ ได้แก่ มุมตกกระทบ ทิศทางการโพราไรซ์เซชั่นของคลื่น และความถี่ของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงการเกิด Multipath Fading

ค่าสัมประสิทธิ์ของการส่งคลื่น คือ อัตราส่วนของระดับสัญญาณที่ส่งกับระดับสัญญาณที่ตกกระทบ (E_t / E_r) ในส่วนของค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อน คือ อัตราส่วนของระดับสัญญาณที่สะท้อนกับระดับสัญญาณที่ตกกระทบ (E_t / E_r) ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โดยที่สัญญาณตกกระทบบนพื้นที่ขนานกันซึ่งอาจจะเป็นสิ่งกีดขวางหรือผนังกั้น ในรูปที่ 4.3a ซึ่งเป็นสัญญาณของคลื่นตามขวางเมื่อเทียบกับพื้นที่ขนานที่ใช้อ้างอิง ดังนั้นสัมประสิทธิ์การส่งและสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนของคลื่นแนวขวางคำนวณหาได้จากสมการ 4.15 และ4.16 ตามลำดับ

$$\text{Transmission Coef. ; t} = (E_t / E_r) = \frac{2\cos\phi_1}{\cos\phi_1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - \sin^2\phi_1\right)^{1/2}} \qquad (4.15)$$

$$\text{Reflection Coef. ; r} = (E_t / E_r) = \frac{\cos\phi_1 - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - \sin^2\phi_1\right)^{1/2}}{\cos\phi_1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - \sin^2\phi_1\right)^{1/2}} \qquad (4.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 4.3b เป็นสัญญาณของคลื่นตามแนวนอนและมีความสัมพันธ์กับพื้นขนาน โดยสัมประสิทธิ์การส่งและสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนของคลื่นแนวนอน (Vertical Polarization) คือ

$$\text{Transmission Coef. ;t} = (E_t / E_r) = \frac{2\cos\phi_1}{\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\right)+\left(1-\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon}\sin^2\phi_1\right)^{1/2}} \qquad (4.17)$$

จากสมการที่ 4.14 4.15 4.16 และ 4.17 ε เป็น Complex Permittivity ของพื้นขนาน และ ε_0 เป็น Permittivity ของ Free space และ ϕ เป็นมุมตกกระทบ

E_i คือ ระดับสัญญาณที่ตกกระทบ

E_r คือ ระดับสัญญาณที่สะท้อน

E_t คือ ระดับสัญญาณที่ส่งจากเครื่องส่ง

เมื่อคลื่นสัญญาณ ในรูปที่ 4.3 ตกกระทบพื้นขนาน(ผนังหรือสิ่งกีดขวาง)ที่มีความหนา D สัญญาณจะลดทอนเมื่อผ่านวัสดุนั้น สัมประสิทธิ์การส่งสัญญาณกำหนดโดย

$$\frac{E_t}{Ei} = t_C e^{-\alpha d} \qquad (4.18)$$

เมื่อ $t_c = t_A \times t_B$ เป็นสัมประสิทธิ์ของการส่งสัญญาณ

t_A เป็นสัมประสิทธิ์การส่งสัญญาณที่ A

t_B เป็นสัมประสิทธิ์การส่งสัญญาณที่ B

α แฟคเตอร์การลดทอน

d = เป็นระยะทางที่สัญญาณผ่านวัสดุนั้น

โดย ค่าของ α คือแฟคเตอร์การลดทอนกำหนดโดย

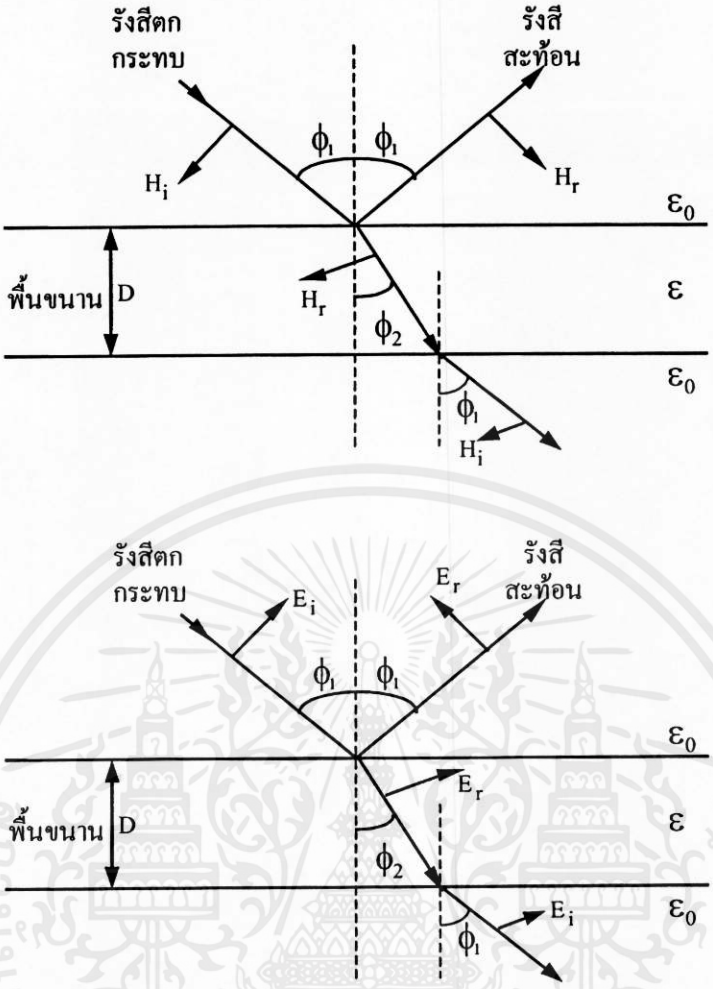
$$\alpha = \frac{2\pi}{\lambda}\left\{\frac{\varepsilon_r'}{2}\left|\left[1+\left(\frac{\varepsilon_r''}{\varepsilon_r}\right)^2\right]^{1/2} - 1\right|\right\}^{1/2} \qquad (4.19)$$

เมื่อ ε_r' คือ จำนวนจริงของความสัมพันธ์ Complex Permitivity ของวัสดุ

ε_r'' คือ ส่วนจินตภาพ ของความสัมพันธ์ Complex Permitivity ของวัสดุ

λ คือความยาวคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการเกิดการสะท้อนของสัญญาณในอาคาร

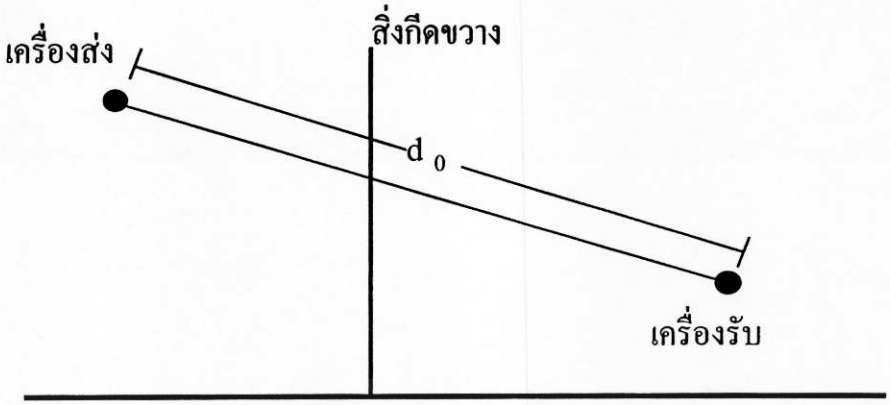
4.2.2 การคำนวณระดับสัญญาณในแนวสายตา (Line of Sight)

การกระจายสัญญาณไปยังเครื่องลูกข่าย ในแนวทางที่มีระดับสัญญาณแรงที่สุดคือในแนวสายตา ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นการส่งสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวางไปยังเครื่องรับสัญญาณในแนวสายตา โดยระดับสัญญาณที่เครื่องรับสามารถกำหนดได้ดังสมการ

$$E_{los} = \frac{t_c E_s e^{-j2\pi d_o / \lambda}}{d_0} \tag{4.20}$$

ซึ่งกำหนดค่าต่างๆได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงรูปแบบการส่งสัญญาณในแนวสายตา

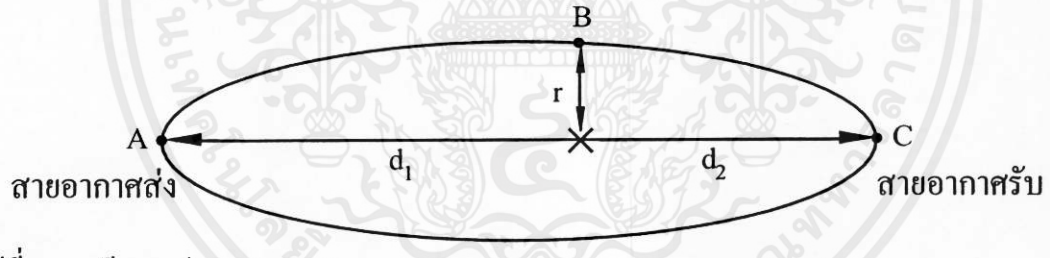
เมื่อ E_s คือ เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณจากเครื่องส่ง

E_{los} คือ ระดับสัญญาณที่เครื่องรับรับได้

d_0 คือ ระยะทางในแนวสายตาระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ

t_c คือ สัมประสิทธิ์ในการส่งสัญญาณ (Complex Transmission Coefficient)

λ คือ ความยาวคลื่นของสัญญาณ



รูปที่ 4.5 วงรีของเฟรสเนล

ถ้าบริเวณสิ่งกีดขวาง หรือพื้นผิวที่มีการสะท้อนอยู่ภายนอกโซนเฟรสเนลระดับแรก (มีค่า k = 1) จะถือว่าเส้นทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับเป็นเส้นทางตรง หรืออยู่ในสภาวะการมองเห็นด้วยสายตา และจะไม่มีการแตกกระจาย (Scatter) ของสัญญาณเกิดขึ้นด้วย โดยสมการของโซนเฟรสเนลระดับแรก จะแสดงได้ดังนี้

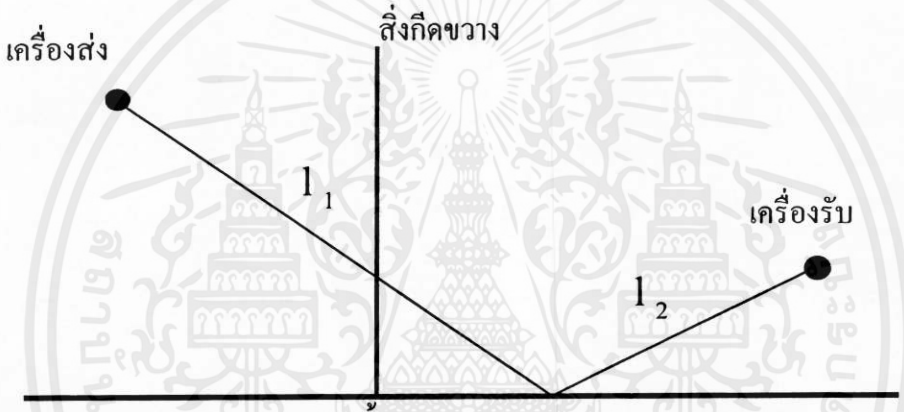
$$r^2 = \lambda\left(\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}\right) \tag{4.21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การคำนวณระดับสัญญาณการสะท้อน

ในการส่งสัญญาณในอาคารการสัญญาณจะเกิดการสะท้อนมากกว่าการส่งสัญญาณภายนอกอาคารเนื่องจาก ภายในอาคารมีความหนาแน่นของสิ่งแวดล้อมมาก เช่น ผนัง พื้น หรือเครื่องใช้สำนักงานต่าง ๆ ซึ่งลักษณะการสะท้อนดังแสดงในรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นการสะท้อนจากพื้นครั้งเดียว โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณหาระดับสัญญาณที่เครื่องรับคือ

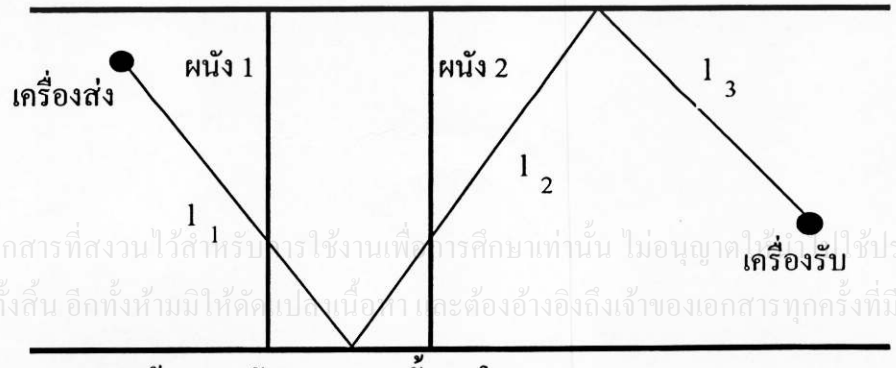
$$E_{1R} = \frac{r_c t_c E_s e^{-j2\pi(l_1+l_2)/\lambda}}{l_1 + l_2} \tag{4.22}$$



รูปที่ 4.6 แสดงการสะท้อนของสัญญาณครั้งเดียวภายในอาคาร

ในรูปที่ 4.7 เป็นการสะท้อนของสัญญาณ 2 ครั้ง ซึ่งสามารถหาระดับสัญญาณที่รับได้ดังสมการ

$$E_{2R} = \frac{(r_{c1}rc2)(t_{c1}t_{c2})E_s e^{-j2\pi(l_1+l_2+l_3)/\lambda}}{l_1 + l_2 + l_3} \tag{4.23}$$



รูปที่ 4.7 แสดงการสะท้อนของสัญญาณสองครั้งภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และในกรณีที่มีการสะท้อนของสัญญาณหลายๆครั้งก็สามารถหาระดับสัญญาณที่เครื่องรับได้เช่นเดียวกัน คือ

$$E_{mR} = \frac{(r_{c1}r_{c2}....r_{cm})(t_{c1}t_{c2}....t_{cm})E_s e^{-j2\pi(l_1+l_2+.....+l_m)/\lambda}}{l_1+l_2+.....+l_{m+1}} \qquad (4.24)$$

เมื่อ E_s คือ ระดับสัญญาณจากเครื่องส่ง

E_{1R} คือ ระดับสัญญาณที่เกิดการสะท้อนครั้งแรก

E_{2R} คือ ระดับสัญญาณที่เกิดการสะท้อนครั้งที่ 2 ที่เครื่องรับ

E_{mR} ระดับสัญญาณที่เกิดจากการสะท้อนของสัญญาณหลายๆ ครั้งที่ เครื่องรับได้

$l_1+l_2+.....+l_k$ คือ ระยะทางทั้งหมดของการสะท้อน ซึ่ง k เพิ่มจากทั้งหมดหนึ่ง

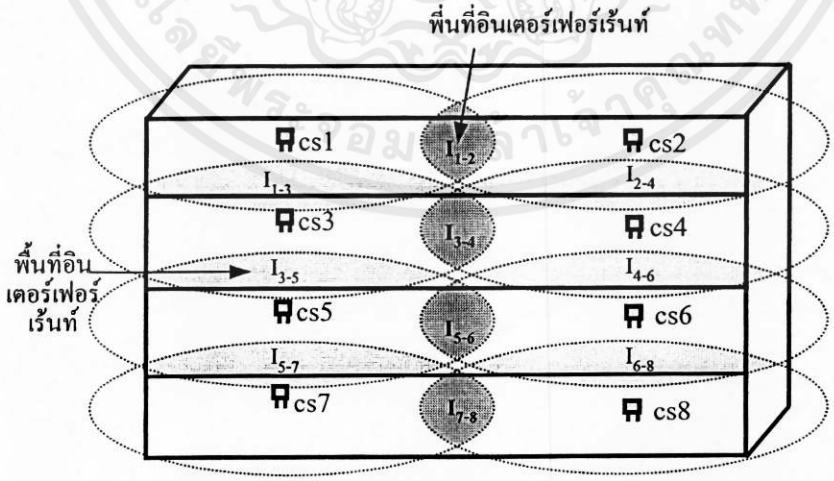
$r_{c1}, r_{c2}, ...r_{cm}$ สัมประสิทธิ์ของการสะท้อนที่จุดสะท้อนที่ 1 2 ..... m ตามลำดับ

$t_{c1}, t_{c2}, ...t_{cm}$ สัมประสิทธิ์การส่งสัญญาณผ่านผนังหรือสิ่งกีดขวาง ที่ 1 2 ...m ตามลำดับ

λ คือความยาวคลื่น

4.3 การลดทอนที่เกิดจากการอินเตอร์เฟอร์เร้นท์ของสัญญาณ

การเกิดอินเตอร์เฟอร์เรนท์ของสัญญาณภายในอาคารนั้นเป็นการเกิดจากช่องสัญญาณข้างเคียง (Adjacent-channel Interference) ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ใน 2 ลักษณะคือ อินเตอร์เฟอร์เรนท์ภายในชั้นเดียวกัน และอินเตอร์เฟอร์เรนท์ต่างชั้นอาคารกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่4.8 แสดงลักษณะการเกิดอินเตอร์เฟอร์เรนท์ภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเตอร์เฟอร์เร้นท์ภายในชั้นเดียวกันเกิดขึ้นเมื่ออาคารนั้นมีขนาดใหญ่ทำให้ต้องมีการวางเซลสเตชั่นจำนวนหลานเซลในชั้นนั้น โดยการวางเซลสเตชั่นต้องวางให้พื้นที่คลอบคุมเหลื่อมล้ำ

กันเล็กน้อยเพื่อให้เกิดการแฮนด์โอเวอร์ระหว่างเซลได้ ดังนั้นเมื่ออยู่บริเวณขอบเซลก็สามารถที่จะรับสัญญาณจากอีกเซลหนึ่งได้เช่นกัน จึงทำให้บริเวณที่ขอบเซล I_{1-2} I_{3-4} I_{5-6} และ I_{7-8} จะมีค่าการเกิดอินเตอร์เฟอร์เร้นท์มากที่สุด

การเกิดอินเตอร์เฟอร์เร้นท์ระหว่างชั้นของอาคารเกิดขึ้นเนื่องจากการวางเซลสเตชั้นระหว่างชั้นตรงกันทำให้สัญญาณเกิดการเหลื่อมล้ำไปยังชั้นที่อยู่ติดกัน ดังในรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเซลสเตชั่นที่ 1 แพร่กระจายสัญญาณเหลื่อมล้ำลงมายังชั้นที่เซลสเตชั่นที่ 3 วางอยู่ซึ่งเซลที่ 3 ก็แพร่กระจายเข้าไปยังชั้นของเซลที่ 1 เช่นกัน ดังนั้นจึงเกิดพื้นที่ของการเหลื่อมล้ำของสัญญาณ I_{1-3} และเช่นเดียวกันในชั้นอื่นๆที่ เกิดพื้นที่การอินเตอร์เฟอร์เร้นท์ คือ I_{2-4} I_{3-5} I_{4-6} I_{5-7} และ I_{6-8}

4.4 การหาการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นในอาคาร

การหาพื้นที่คลอบคุมของเซลสเตชั่นวิธีการที่สำคัญนั้นจะใช้สมการการลดทอนของสัญญาณที่มีผู้เสนอหลายคนซึ่งขึ้นอยู่กับพื้นที่การใช้งานและระบบที่ออกแบบสำหรับการใช้งาน เช่น ระบบที่มีความถี่และลักษณะของสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน สมการการลดทอนลดทอนก็มีค่าแฟคเตอร์ต่างๆที่ต่างกันเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในระบบนั้นๆด้วย แต่การปรับปรุงสมการก็จะอาศัยพื้นฐานของสมการการแพร่กระจายคลื่น สำหรับวิธีการหาการลดทอนของสัญญาณที่เป็นที่ยอมรับกันมากและเป็นพื้นฐานในการปรับปรุงสมการการลดทอนเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทยมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี คือ

4.4.1 วิธีการของ Hata [9]

ในวิธีการของ Hata ซึ่งศึกษาลักษณะการแพร่กระจายคลื่นสำหรับระบบการสื่อสารในอาคาร โดยมีความแตกต่างจากระบบของภายนอกอาคารอย่างสิ้นเชิงเพราะในอาคารจะมีสิ่งกีดขวางจำนวนมากเช่น ผนัง กำแพง พื้น และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ทำให้เกิดการสะท้อน การกระจายของคลื่นหรือการเกิด shadowing fading ของการส่งคลื่นวิทยุ โดยเริ่มแรก Hata ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อคลื่นวิทยุ ลักษณะของห้อง และทำการจัดแบ่งลักษณะสิ่งแวดล้อมต่างออกเป็นรูปแบบของขนาดการใช้งาน ตารางที่ 4.1 ซึ่งรวบรวมความสัมพันธ์ต่างๆเหล่านี้ โดยโครงสร้างลักษณะรูปร่างของห้องแบ่งเป็น 5 ลักษณะคือ

- ห้องที่มีขนาดใหญ่โดยไม่มีสิ่งกีดขวางมากนัก หรือสิ่งกีดขวางน้อยมาก
- ห้องใหญ่ โดยมีสิ่งกีดขวาง กำแพง มีจำนวนน้อยถึงปานกลาง
- ห้องใหญ่ที่มีสิ่งกีดขวางจำนวนมาก
- ห้องเล็กที่มีความหนาแน่นของสิ่งกีดขวางต่ำ
- ห้องเล็กที่มีสิ่งกีดขวางจำนวนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงการจัดแบ่งรูปแบบต่างๆที่สัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมของ Hata

ลักษณะสิ่งแวดล้อมในการแพร่กระจายคลื่น		โครงสร้างของห้อง					รูปแบบของโซน				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
พื้นที่ธุรกิจ	โรงงานขนาดใหญ่		0	0					0	0	0
	ออฟฟิคใหญ่	0	0	0	0	0			0	0	0
	ห้างสรรพสินค้า		0	0						0	0
	สนามบิน		0			0			0	0	0
	ห้องจัดแสดง	0	0	0	0	0			0	0	0
	ซุปเปอร์มาเก็ต			0				0	0	0	0
	โรงงานขนาดเล็ก					0	0	0	0		
	ออฟฟิคขนาดเล็ก				0	0	0	0			
	ร้านค้าขนาดเล็ก				0	0	0	0			
พื้นที่อยู่อาศัย	พื้นที่ชาญเมือง				0	0	0				
	ชนบท				0	0					
	อพาร์ทเม็น				0	0			0	0	

ซึ่งจากการกำหนดลักษณะของห้องและสิ่งแวดล้อมแล้วก็ทำการออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นเพื่อให้บริการภายในอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยสามารถแบ่งตามพื้นที่การใช้งานได้ 5 แบบ คือ

4.4.1.1อาคารที่มีขนาดเล็กหลายอาคาร

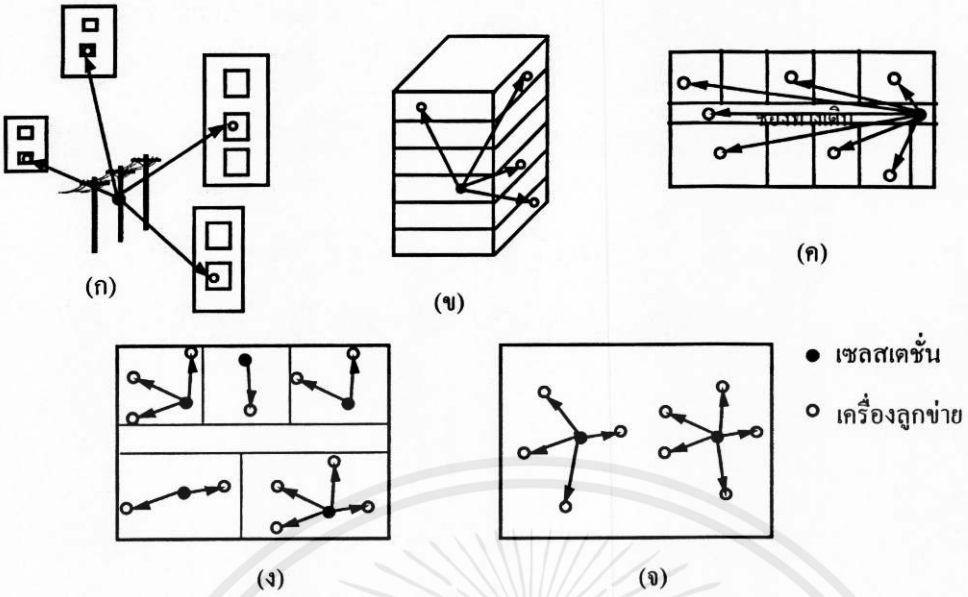
โดยเซลสเตชั่นจะติดตั้งไว้อยู่นอกอาคารโดยสามารถส่งคลื่นสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ในอาคารได้ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4.9(ก) ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสามารถทะลุทะลวงผ่านผนังอาคารได้ และสมการการลดทอนของสัญญาณดังสมการ

$$L_p(r) = L_r(r_0)(r/r_0)^{\alpha_1} L_B(r_0)(r/r_0)^{\alpha_2} A_F \qquad (4.25)$$

โดย $L_p(r)$ คือการลดทอนของสัญญาณ

$L_r(r_0)$ คือการลดทอนเนื่องจากระยะทางที่ระยะ $r = r_0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะของโซนต่าง ๆ ตามวิธีการของ Hata

$L_B(r_0)$ คือ การลดทอนของอาคารที่ระยะ $r = r_0$

$\alpha 1$และ$\alpha 2$ คือแฟคเตอร์การลดทอนเนื่องจากระยะทางและอาคาร

A_F คือ การลดทอนเนื่องจากการทะลุของคลื่นผ่านผนังอาคาร

โดยที่ $L_r(r_0)$ และ $L_B(r_0)$ เป็นการกำหนดด้วยความถี่และความหนาแน่นของสิ่งกีดขวาง ซึ่งความแตแตกต่างกันก็คือ $L_r(r_0)$ มีค่าเพิ่มขึ้นพร้อมๆกับความถี่ในขณะที่ $L_B(r_0)$จะลดลงเมื่อความถี่ลดลง ดังนั้นเมื่อรวมการลดทอนเนื่องจากระยะทางที่ความถี่สูงๆทำให้การแพร่กระจายคลื่นไปได้ระยะทางไม่มาก

$\alpha 1$ เป็นการกำหนดโดยการกระจายตัวของอาคารระหว่างเซลสเตชั่นและเครื่องรับแต่ละเครื่อง ในกรณีแนวสายตา (LOS) ค่าของ $\alpha 1$ จะมีค่าเป็น 2.0 และในกรณีที่อยู่นอกแนวสายตา (Non-LOS) ค่าของ $\alpha 1$ จะมีค่าอยู่ใน $3 \leq \alpha 1 \leq 6$ แน่นอนว่าค่าเริ่มต้นขึ้นอยู่กับสิ่งกีดขวางรอบๆ อาคาร

$\alpha 2$ ขึ้นอยู่กับระยะทางแต่มีค่าน้อยกว่า $\alpha 1$ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5-1.5

A_Fขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความสูงของสายอากาศระหว่างเซลสเตชั่นและเครื่องลูกข่าย ถ้าความสูงของของสายอากาศของเซลสเตชั่นและเครื่องลูกข่ายมีความสูงพอๆกัน ค่า A_F จะมีค่าต่ำสุด แต่ถ้าความแตกต่างของความสูงสายอากาศของเครื่องลูกข่ายและเซลสเตชั่นเพิ่มขึ้น ค่า A_F ก็จะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.2 อาคารที่มีขนาดปานกลาง

อาคารที่มีขนาดปานกลาง จะติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคาร เพียงเซลเดียวสามารถครอบคลุมเครื่องลูกข่ายทั้งหมดในอาคารได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.9(ข) ดังนั้นตำแหน่งของเซลสเตชั่นจึงมีความสำคัญ ซึ่งโดยปกติบริเวณชั้นกลางของอาคารจึงเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งเซลสเตชั่นซึ่งขึ้นกับขนาดของห้องและความเป็นระเบียบการจัดวางภายในของอาคาร นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความหนาแน่นของปริมาณการใช้งานอีกด้วย โดยสมการของการลดทอนในรูปแบบนี้คือ

$$L_p(r) = L_r(r)(r/r_0)^{\alpha p} \tag{4.26}$$

เมื่อ αp มีค่า 2-3 เมื่อเซลสเตชั่นอยู่ชั้นเดียวกับเครื่องลูกข่าย

และαp มีค่า ≥ 3 เมื่อเซลสเตชั่นอยู่ต่างชั้นกับเครื่องลูกข่าย

4.4.1.3 อาคารที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่

ในแต่ละชั้นของอาคารจะมีการติดตั้งเซลสเตชั่นเพียงเซลเดียว แสดงในรูปที่ 4.9(ค) โดยจะคำนึงค่าการลดทอนของสิ่งแวดล้อมต่างๆที่มีอยู่ในอาคารนั้น สำหรับ Hata มีการกำหนดค่าการลดทอนเนื่องจากสิ่งแฟคเตอร์ต่าง ๆดังตารางที่ 4.2 โดยสมการการลดทอนเนื่องจากระยะทางในรูปแบบนี้คือ

$$L_p(r) = \left(\frac{4\pi f_c r}{c}\right)^2 F(r)^{k1} W(r)^{k2} R(r) \tag{4.27}$$

โดย c คือความเร็วแสง

fc เป็นความถี่ที่ใช้งาน

F(r) คือการลดทอนเนื่องจากพื้น

W(r) คือ การลดทอนเนื่องจากผนัง

R(r) การสูญเสียเนื่องจากการสะท้อน

k1 คือ จำนวนพื้นที่ขวางกั้นสัญญาณ

k2 คือ จำนวนผนังที่ขวางกั้นสัญญาณ

F(r) ใช้ 20-40 dB ขึ้นกับค่า r น้อยมากในระบบของโซนขนาดกลางเป็นรูปแบบดี และประหยัดเมื่อจำกัดการครอบคุมในชั้นเดียวกันสำหรับจุดมุ่งหมายนี้ คือกรณี F(r) ที่มีค่ามาก อย่างไรก็ตามการลดทอนเนื่องจากชั้นในหน่วย dB เป็นการเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับจำนวนของชั้นที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้นำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการแสดงการไม่เป็นเส้นตรงมีส่วนเกี่ยวข้องกับจำนวนของชั้นเพราะกำลังจะทะลุผ่านทางชั้นของบันไดและหน้าต่าง

W(r) เป็นแฟคเตอร์ที่มีความสำคัญมากในการอธิบายพื้นที่ครอบคลุมตารางที่ 4.2 แสดงแฟคเตอร์การลดทอนสำหรับการเปลี่ยนแปลงวัสดุที่ทำเป็นผนังเมื่อเราครอบคลุมพื้นที่มากต้องเลือกค่าของ W(r) มีค่าของ W(r) มีค่าพอประมาณ อีกอย่างหนึ่งค่ามากเป็นสิ่งจำเป็นเมื่อเราต้องการจำกัดรัศมีของโซนในการเรียนรู้เพิ่มเติมของผลแฟคเตอร์ลดทอนนี้

R(r) เป็นการสูญเสียการสะท้อน ในกรณีการสื่อสารภายในอาคาร อย่างไรก็ตามค่า R(r) จะมีค่าน้อยมาก กรณีพิเศษเมื่อตัวส่งสัญญาณเป็นการกระจายคลื่นในช่องทางเดินที่ยาวเพราะว่าการแพร่กระจายของคลื่นนอกช่องทางเดินเทียบเคียงกันแล้วมีค่าน้อย

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการลดทอนของแฟคเตอร์ต่างๆ ของ Hata

ชนิดของวัสดุที่ทำผนัง	ค่าการลดทอน
ไม้	2.5-3.5 dB
กระดานอัด(Plasterboard)	0.2-3.5 dB
คอนกรีต	8.0-15 dB
ขนสัตว์อัดแน่นเป็นฉนวนไฟฟ้า	38 dB

4.4.1.4 อาคารที่มีขนาดใหญ่มาก

อาคารที่มีขนาดใหญ่มากๆจะแบ่งเป็นพื้นที่ขนาดเล็กเป็นห้องๆซึ่งในอาคารมีปริมาณการใช้งานหนาแน่น ซึ่งทำให้ต้องติดตั้งเซลสเตชั่น 1 เซลในห้อง 1 ห้อง ดังแสดงในรูปที่ 4.9(ง)โดยในลักษณะอาคารนี้จะเกิดการลดทอนสูงซึ่งต้องคำนึงถึง ในการหาการลดทอนจะขึ้นอยู่กับจำนวนของผนังที่กั้นระหว่างเซลสเตชั่นกับเครื่องลูกข่าย ซึ่งสามารถจำแนกการลดทอนของการแพร่กระจายคลื่นได้เป็น เส้นทางที่อยู่ในแนวสายตา (LOS) และเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวางขั้นระหว่างเซลกับเครื่องรับเพียงสิ่งเดียว(NLOS1) และ ตั่งแต่สองสิ่งขึ้นไป (NLOS2) ซึ่งผลที่ได้คือค่าแฟคเตอร์ของการลดทอนที่เกิดจากระยะทาง (α_p) ให้มีค่าประมาณ 2 สำหรับ LOS มีค่าประมาณ 3 สำหรับ NLOS1 และ 4 สำหรับ NLOS2

ในอาคารที่มีขนาดใหญ่ที่ถูกแบ่งเป็นห้องขนาดเล็กๆ ถ้าใช้สัญญาณพาหะในย่านความถี่ของสูงเช่น ไมโครเวฟ ต้องมีการพัฒนาระบบให้ประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณเพิ่มขึ้น เพราะที่ความถี่สูงจะเกิดการลดทอนมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1.5 อาคารที่มีปริมาณการใช้งานสูง

ในห้องที่มีปริมาณการใช้งานสูง เช่นในห้อง ของอาคารธุรกิจ จะทำการติดเซลสเตชั่นเพิ่มเข้าไปในห้องนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 (ง) เพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งาน โดยสมการการลดทอน

ของคลื่นใช้สมการที่ 4.27 เช่นเดียวกับอาคารอาคารขนาดค่อนข้างใหญ่ ซึ่งการวางเซลสเตชั่นทุกเซลเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูง ต้องหาตำแหน่งของเซลสเตชั่นที่ให้มีจำนวนของเซลน้อยที่สุดและสามารถคลอบคุมพื้นที่การใช้งาน โดยรองรับปริมาณการใช้งานได้

4.4.2 วิธีการของ C.Y .Lee [18]

หลักการคาดคะเนการแพร่กระจายคลื่นของ C.Y. Lee จะใช้สูตรที่แตกต่างกันขณะที่คลื่นผ่านไปยังสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน ซึ่งในอาคารมีสิ่งแวดล้อมที่ไม่เป็นระเบียบและมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับความยาวคลื่น ดังนั้นการแพร่กระจายคลื่นที่มีลักษณะหลายทิศทางเนื่องจากการสะท้อนของคลื่นกับสิ่งแวดล้อมซึ่งทำให้สัญญาณที่เครื่องลูกข่ายรับได้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก โดยที่ไม่สามารถอธิบายถึงผลกระทบทั้งหมดของการแพร่กระจายคลื่นได้ C.Y.Lee จึงเสนอวิธีการที่ใช้ในการคาดคะเนการแพร่กระจายคลื่นในอาคารโดยอาศัยสมการการลดทอนของสัญญาณ

ในวิธีการหาการลดทอนของ C.Y.Lee ได้มีการกำหนดแฟคเตอร์ของอาคาร 3 อย่าง คือ หนึ่งขอบเขตของอาคารซึ่งรู้ได้จากความยาว และความกว้างของอาคาร สองขนาดห้องต่างๆ สุดท้ายคือห้องที่มีลักษณะพิเศษเช่น ลิฟท์ โดยการคำนวณการลดทอนจะนำแฟคเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้นมาพิจารณา โดยในรูปที่ 4.10 แสดงภาพแวดล้อมในอาคารของวิธีการของ C.Y. Lee

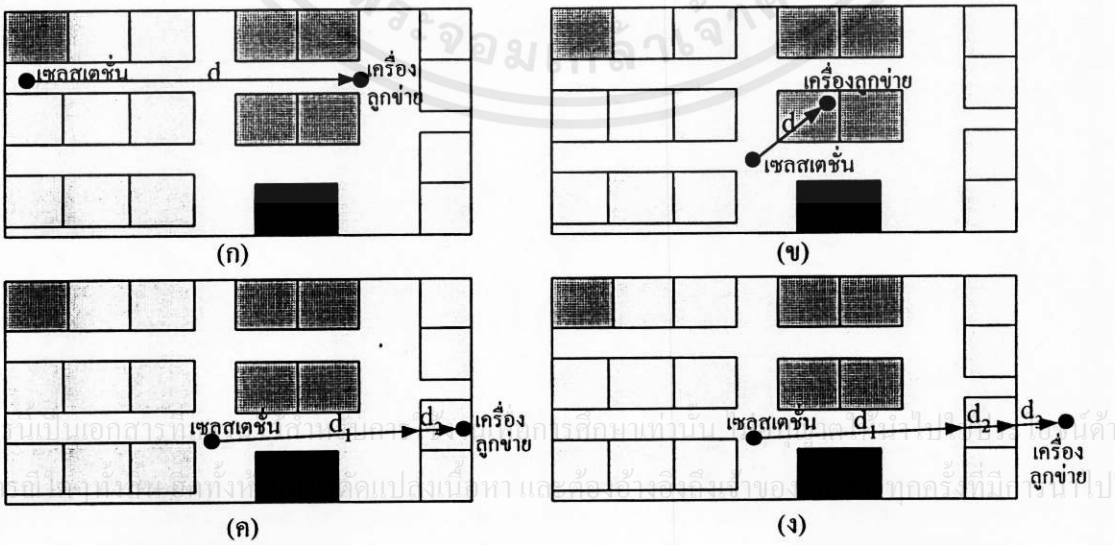
d คือ ระยะทางจากเซลสเตชั่นถึงเครื่องลูกข่าย

d1 คือ ระยะทางจากเซลสเตชั่นถึงผนังของห้องแรก

d2 คือ ระยะทางจาก ผนังของห้องแรกจนถึงขอบของอาคาร

d3 คือ ระยะทางจากขอบของอาคารจนถึงเครื่องลูกข่าย

จะเห็นได้ว่า d3 มีค่าเป็นศูนย์เมื่อเครื่องลูกข่ายอยู่ภายในอาคาร ซึ่งในกรณีนี้ d2 มีค่าเท่ากับผนังของห้องแรกจนถึงเครื่องลูกข่าย



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะโครงสร้างของอาคารที่ใช้ในสมการการลดทอนของ C.Y.Lee

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิธีการของ C.Y.Lee สามารถคำนวณหาการลดทอนได้ 3 ชนิด ชนิดแรกเป็นรูปแบบมาตราฐานคือหาการลดทอนในแนวสายตา(Line of Sight :LOS) ชนิดที่ 2 คือการหาการลดทอนในแนวเส้นทางที่ผ่านห้องต่างๆแต่อยู่ในแนวของเฟสสเนลโซน ชนิดที่ 3 เป็นการหาการลดทอนในแนวที่ผ่านห้องต่างๆและไม่อยู่ในเฟสสเนลโซน

4.4.2.1 การหาการลดทอนในแนวสายตา (Line of Sight)

ในกรณีนี้เครื่องลูกข่ายอยู่ในเส้นทางตรงไม่มีสิ่งกีดขวางกับเซลสเตชั่นแสดงในรูปที่ 4.10 (ก) แสดงให้เห็นว่าไม่มีผนังกันระหว่างห้อง ดังนั้น d1 d2 และ d3 มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งแฟคเตอร์ที่นำมาพิจารณาก็คือ d1 อย่างเดียวเท่านั้นโดยสมการการลดทอนคือ

$$L_{los} = 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \tag{4.28}$$

โดย λ คือความยาวคลื่นของสัญญาณ

d คือ ระยะระหว่างตัวรับกับตัวส่ง

ถ้า P_r เป็น กำลังที่เครื่องลูกข่ายรับได้ และ P_t คือ กำลังงานที่เซลสเตชั่นส่งออก

$$P_r = P_t + G_t - L_{los} + G_r$$

เมื่อ G_t เป็นอัตราขยายของสายอากาศของเซลสเตชั่น

G_r เป็นอัตราขยายของเครื่องลูกข่าย

4.4.2.2 การหาการลดทอนในแนวที่ไม่อยู่ในแนวสายตา (Receiver not in LOS)

ซึ่งแบ่ง 2 ชนิดคืออยู่ในเฟสเนลโซน และไม่อยู่ในเฟสสเนลโซน

1) การหาการลดทอนที่เครื่องลูกข่ายอยู่ในแนวเฟสสเนลโซน(Receiver in Fresnel zone) แสดงในรูปที่ 4.10(ข) จะเห็นได้ว่าจะมีสิ่งกีดขวางระหว่างตัวรับกับตัวส่ง ซึ่งยังอยู่ในแนวเฟสสเนลโซน โดยระยะทางที่ใช้ในการคำนวณหาระดับสัญญาณพิจราณาจากตัวรับไปถึงตัวส่งโดยมีสมการ Path Loss ดังในสมการที่ 4.27

$$L_{los} = 20\log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) \tag{4.29}$$

โดยที่ λ คือความยาวคลื่นของสัญญาณ

d คือ ระยะระหว่างตัวรับกับตัวส่ง

ซึ่งเช่นเดียวกันถ้า P_r คือเพาว์เวอร์ที่เครื่องลูกข่ายรับได้ และ P_t คือ กำลังงานที่เซลสเตชั่นส่งออก โดย G_t เป็นอัตราขยายของสายอากาศของเซลสเตชั่น และ G_r เป็นอัตราขยายของเครื่องลูกข่าย สมการจะเหมือนในลักษณะของในแนวสายตา (Line of Sigth) ซึ่งจะได้สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_r = P_t + G_t - L_{los} + G_r$$

2) การหาการลดทอนที่เครื่องลูกข่ายไม่อยู่ในเฟสเนลโซน(Receiver not in Fresnel zone) เมื่อมีสิ่งกีดขวางเป็นผนังห้องอยู่ระหว่างระยะทางจากเครื่องลูกข่ายถึงเซลสเตชั่นและเครื่องลูกข่ายอยู่นอกแนวเฟสสเนลโซน ดังแสดงในรูปที่ 4.10(ค) ซึ่งกำหนดให้ระยะทางจากเซลสเตชั่นถึงผนังของห้องเป็น d1 ซึ่งอยู่ในแนวสายตาขณะที่ d2 คือระยะทางจากผนังถึงเครื่องลูกข่าย ดังนั้นการลดทอนของสัญญาณในระยะทาง d1 คือ

$$L_{los} = 20\log\left(\frac{4\pi d_1}{\lambda}\right) \tag{4.30}$$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่นของสัญญาณ

d_1 คือ ระยะระหว่างเครื่องลูกข่ายกับผนังห้อง

ในส่วนของการลดทอนของสัญญาณที่เกิดจากห้องซึ่งมีระยะ d_2 จากผนังห้องแรกจนถึงเครื่องลูกข่ายกำหนดโดยสมการ

$$L_{room} = m_{room}\log d_2 \tag{4.31}$$

m_{room} เป็นความชันของระดับสัญญาณที่ได้จากการทดลอง โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 40 ดังนั้น กำลังที่รับได้ที่เครื่องลูกข่ายจะมีค่าเท่ากับ

$$P_r = P_t + G_t - L_{los} - L_{room} + G_r$$

3) การหาการลดทอนที่เครื่องลูกข่ายอยู่ในห้องพิเศษ(Receiver in special room) ในรูปที่ 4.10 (ค) ถ้าเครื่องลูกข่ายอยู่ในห้องพิเศษเช่น ลิฟท์ ซึ่งมีโครงสร้างต่างจากห้องธรรมดา ดังนั้นสมการลดทอนก็ประกอบไปด้วย 2 ส่วน เช่นกัน ส่วนแรก คือการลดทอนที่เกิดจากเซลสเตชั่นไปยังผนังของห้องพิเศษนั้น เช่นเดียวกับสมการที่ 4.28 ส่วนที่สองเป็นการลดทอนเนื่องจากลักษณะห้องพิเศษนั้น คือ

$$L_{Specialroom} = m_{Specialroom}\log d_2 \tag{4.32}$$

จะได้

$$P_r = P_t + G_t - L_{los} - L_{Specialroom} + G_r$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ d_2 เป็นระยะจากผนังถึงเครื่องลูกข่าย และโดยทั่วไป $m_{Specialroom}$ เป็นความชันของระดับสัญญาณที่ได้จากการวัดในห้องพิเศษ ซึ่งมีค่ามากกว่า 40

4) การหาการลดทอนที่เครื่องลูกข่ายอยู่นอกอาคาร (Receiver outside the building) ดังในรูปที่ 4.10 (ง) จะเห็นได้ว่าจากเซลสเตชั่นจนถึงเครื่องลูกข่ายประกอบด้วย 3 ระยะทางคือระยะทางจากเซลสเตชั่นถึงผนังห้อง กำหนดเป็น d_1 ซึ่งมีการลดทอนของสัญญาณเป็น L_{los} ส่วนระยะทางช่วงที่ 2 จากผนังของห้องด้านหนึ่งถึงผนังห้องอีกด้านหนึ่งให้เป็น d_2 และมีการลดทอนของสัญญาณเป็น L_{room} และช่วงสุดท้ายเป็นระยะจากผนังห้องท้ายสุดของอาคารถึงเครื่องลูกข่ายที่อยู่นอกอาคาร โดยกำหนดเป็น d_3 ดังนั้นสมการการลดทอนของสัญญาณเมื่อเครื่องลูกข่ายอยู่นอกอาคารกำหนดได้ดังนี้

$$L_{los} = 20\log\left(\frac{4\pi d_1}{\lambda}\right) \tag{4.33}$$

$$L_{room} = 40\log d_2 \tag{4.34}$$

$$L_{outside} = L_{wall} + 20\log d_3 \tag{4.35}$$

โดยที่เมื่อสัญญาณผ่านผนังเกิดการลดทอนของสัญญาณ L_{wall} เท่ากับ 20 dB โดยกำลังที่เครื่องลูกข่ายสามารถรับได้

$$P_r = P_t + G_t - L_{los} - L_{room} - L_{outside} + G_r \tag{4.36}$$

ซึ่งการเสนอสมการการลดทอนของสัญญาณยังมีผู้นำเสนออีกหลายท่าน ซึ่งออกแบบโดยอาศัยหลักพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น แล้วนำมาปรับปรุงให้เหมาะสมกับระบบและพื้นที่การให้บริการนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิธีการออกแบบการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นในอาคารของโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล PCT

ในการใช้งานโทรศัพท์ไร้สายพกพาส่วนบุคคลที่มีการออกแบบให้เซลเป็นแบบไมโครเซลและใช้ความถี่ในย่านที่สูงขึ้นซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายระบบ นั่นก็คือ ระบบ PHS ใช้งานในประเทศญี่ปุ่นโดยจะใช้ย่านความถี่ในการทำงานในช่วง 1,895 - 1,918 MHz ระบบที่ 2 เป็นระบบ DECT เป็นระบบที่ใช้งานในยุโรปซึ่งใช้ย่านความถี่ 1,880 - 1,990 MHz ระบบที่ 3 เป็นระบบ PACS ให้บริการในประเทศอเมริกา ใช้ความถี่ย่าน 1,850 - 1,910 MHz และ 1,930 - 1,990 MHz และระบบที่ 4 เป็นระบบ PCS ที่มีความถี่สูงขึ้นไปอีกคือในย่าน 2,130 - 2,150 MHz และ 2,180 - 2,200 MHz ซึ่งในการออกแบบแต่ละระบบขึ้นอยู่ผู้ออกแบบและมาตราฐานขององกรค์ที่ควบคุมการสื่อสารสากล ITU ซึ่งในการใช้งานของแต่ละประเทศต้องเป็นไปตามมาตรฐานของแต่ละระบบที่ออกแบบไว้แต่ก็สามารถประยุกต์ใช้งานตามลักษณะความต้องการใช้งานในประเทศนั้นได้

สำหรับในประเทศไทยได้มีการนำเอาเทคโนโลยี PHS ที่ใช้งานในประเทศญี่ปุ่นมาพัฒนาและประยุกต์เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานในประเทศไทยโดยเปลี่ยนชื่อเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายพกพาส่วนบุคคล PCT (Personal Communication Telephone) ซึ่งในการออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นของระบบโทรศัพท์ไร้สายพกพาส่วนบุคคล PCT นั้นก็มีความแตกต่างจากการติดตั้งเซลสเตชั่นของระบบโทรศัพท์ PHS เนื่องจาก ลักษณะภาพแวดล้อม ภูมิอากาศ ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ลักษณะการใช้งานก็แตกต่างกันอีกด้วย ดังนั้นในการติดตั้งเซลสเตชั่นภายในอาคารของระบบโทรศัพท์ไร้สายพกพาส่วนบุคคล PCT นั้นก็ต่างจากลักษณะการติดตั้งระบบระบบโทรศัพท์พกพา PHS เนื่องจากโครงสร้างของอาคารที่ต่างกันรวมถึงวัสดุที่นำมาทำก็ต่างกัน โดยในประเทศญี่ปุ่นจะมีอากาศที่หนาวซึ่งต่างจากประเทศไทยที่อยู่ในเขตร้อน ทำให้โครงสร้างและวัสดุที่นำมาทำอาคารในญี่ปุ่นก็จะเลือกวัสดุที่ป้องกันอากาศที่หนาว ส่วนในประเทศไทยนั้นการสร้างอาคารก็จะคำนึงถึงโครงสร้างและวัสดุที่สามารถระบายความร้อนได้ดี ดังนั้นในการศึกษาการวางเซลสเตชั่นในอาคารของระบบโทรศัพท์ไร้สายพกพาส่วนบุคคล PCT จึงมีความสำคัญในลำดับต้นๆ นอกจากนี้ในการติดตั้งเซลสเตชั้นในอาคารยังมีความยุ่งยากและมีความแตกต่างจากการวางเซลสเตชั่นภายนอกอาคารโดยสิ้นเชิง เพราะภายในอาคารมีสภาพแวดล้อมแบบปิด และมีแฟคเตอร์ที่เป็นสิ่งกีดขวางทางเดินคลื่นจำนวนมากทั้งจากผนังห้อง พื้นอาคาร ซึ่งค่าการลดทอนเนื่องจากแฟคเตอร์นั้น

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีค่าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดกับวัสดุที่ใช้ เช่น พื้นที่ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังที่ทำด้วยปูนซิเมน ผนังที่ทำด้วยกระดานอัด และผนังที่ทำด้วยกระจก ซึ่งแฟคเตอร์ต่างๆเหล่านี้ทำให้การคาดคะเนการแพร่กระจายคลื่นในอาคารนั้นเป็นเรื่องยาก นอกจากนี้ในการติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคารยังต้องคำนึงถึงการเกิดการรบกวนกันของสัญญาณ(Interference) ระหว่างเซลสเตชั่นในชั้นที่อยู่ติดกัน ดังนั้นการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นในอาคารที่เหมาะทำให้การสื่อสารของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเซลสเตชั่นที่ไม่จำเป็นอีกด้วย

5.1 วิธีการที่ได้ทำการออกแบบขึ้น

ในการศึกษาการออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคารนั้น โดยทฤษฎีพื้นฐานที่นำมาใช้สำหรับการหาพื้นที่คลอบคลุมจะนำสมการการแพร่กระจายคลื่น (Path Loss) มาเป็นหลักการออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่น ซึ่งรูปแบบของสมการเดิมที่มีอยู่ คือ โมเดลของ Hata และโมเดลของ C.Y.Lee โดยแต่ละโมเดลก็มีลักษณะเฉพาะที่สามารถนำไปออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคารได้ดีในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ทั้งนี้สมการเดิมที่มีอยู่ยังเป็นพื้นฐานในการพัฒนาและประยุกต์ใช้งานในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างออกไป

สำหรับสมการการลดทอนที่มีอยู่เดิมของ Hata ซึ่งมีการนำมาออกแบบการใช้งานในประเทศญี่ปุ่นโดยมีการออกแบบที่เหมาะสมกับการใช้กับย่านความถี่ที่ 1500 MHz ซึ่งใช้งานในญี่ปุ่น ส่วนในสมการการลดทอนของ Lee นั้นรูปแบบไม่ได้คำนึงถึงวัสดุที่นำมาทำอาคารซึ่งเป็นสิ่งสิ่งกีดขวางของสัญญาณในอาคารมากนัก ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงสการเหล่านี้เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT ที่มีการให้บริการในประเทศไทย โดยสมการการลดทอนที่นำเสนอคือ

$$L_p(r) = 20Log(4\pi r/\lambda) + a(AF_{w1}) + b(AF_{w2}) + c(AF_{w3}) + d(AF_f) \qquad (5.1)$$

โดยที่ r คือระยะทาง

λ คือความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน

AF_{w1}, AF_{w2}, AF_{w3}, คือแฟคเตอร์ของการลดทอนของผนังชนิดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

AF_f คือแฟคเตอร์ของการลดทอนของพื้น

a b c คือจำนวนของผนังชนิดที่ 1 2 3 ตามลำดับ

d คือจำนวนของพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการการลดทอนจะเห็นได้ว่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องมาจากแฟคเตอร์หลายอย่าง คือ ความถี่ ระยะทาง การลดทอนจากการที่สัญญาณผ่านสิ่งกีดขวางชนิดต่างซึ่งลดทอนไม่เท่ากัน จำนวนสิ่งกีดขวาง และยังขึ้นกับอัตราขยายของเครื่องลูกข่ายและเซลสเตชั่น ซึ่งแฟคเตอร์ต่างๆ เหล่านี้สามารถหาได้จากการทดลองและลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์นั่นๆ ดังนั้นการกำหนดแฟคเตอร์ต่างๆเหล่านี้จึงเป็นสิ่งที่ต้องเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าจริงมากที่สุด

สำหรับการหาระดับสัญญาณที่เครื่องรับนั้นเมื่อเราทราบค่าของการลดทอนสามารถหาได้จากสมการพื้นฐานดังนี้

$$P_r = P_t + G_t - L + G_r \tag{5.2}$$

โดยที่

P_t คือ กำลังส่งของเซลสเตชั่น

P_r คือ กำลังที่เครื่องรับสามารถรับได้

L คือ การลดทอนของสัญญาณ

G_r และ G_t คืออัตราขยายของเครื่องลูกข่ายและเซลสเตชั่น

ดังนั้น เมื่อการลดทอนของสัญญาณเป็นดังสมการที่ 5.1 เครื่องลูกข่ายจะมีระดับสัญญาณดังสมการ 5.4

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_p(r) \tag{5.3}$$

$$P_r = P_t + G_t + G_r - 20Log(4\pi r/\lambda) + a(AF_{w1}) + b(AF_{w2}) + c(AF_{w3}) + d(AF_f) \tag{5.4}$$

5.2 การกำหนดค่าแฟคเตอร์ที่ใช้ในคำนวน

ในสมการการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากระยะทางที่ได้ปรับปรุงจากสมการที่มีอยู่เดิม โดยพิจารณาร่วมกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ใช้ย่านความถี่ 1900 MHz กำลังส่งของเซลสเตชั่น ระยะทาง แฟคเตอร์ของการลดทอนของผนังชนิดที่ 1 2 และ 3 แฟคเตอร์ของการลดทอนของพื้น จำนวนของผนังชนิดที่ 1 2 และ 3 สุดท้ายคือ จำนวนของพื้น

5.2.1 กำลังส่งของเซลสเตชั่น

ในส่วนของแฟคเตอร์กำลังส่งของเซลสเตชั่นของระบบโทรศัพท์ไร้สายพกพาส่วนบุคคลมีหลายขนาดขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่ใช้งาน โดยกำลังส่งของสายอากาศที่ใช้ในอาคารมีขนาด 10 mW ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถใช้ได้ดีในอาคารที่มีความยาวไม่เกิน 30 เมตรซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างของอาคารโดยแทนค่าในสมการที่ 5.4

5.2.2 อัตราขยายของสายอากาศ

ตามมาตราฐานของสายอากาศที่ใช้ในโทรศัพท์ไร้สายพกพาส่วนบุคคล PCT กำหนดอัตราขยายของสายอากาศทางด้านส่งเป็น G_t = 4 dBi และทางด้านรับ G_r = 2 dBi โดยแทนค่าดังกล่าวลงในสมการที่ 5.4

5.2.3 แฟคเตอร์การลดทอนเนื่องจากผนังอาคารและจากพื้นอาคาร

ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่นำมาทำผนังนั้นโดยทำการส่งคลื่นผ่านผนังชนิดต่างๆจำนวน 10 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 5.1

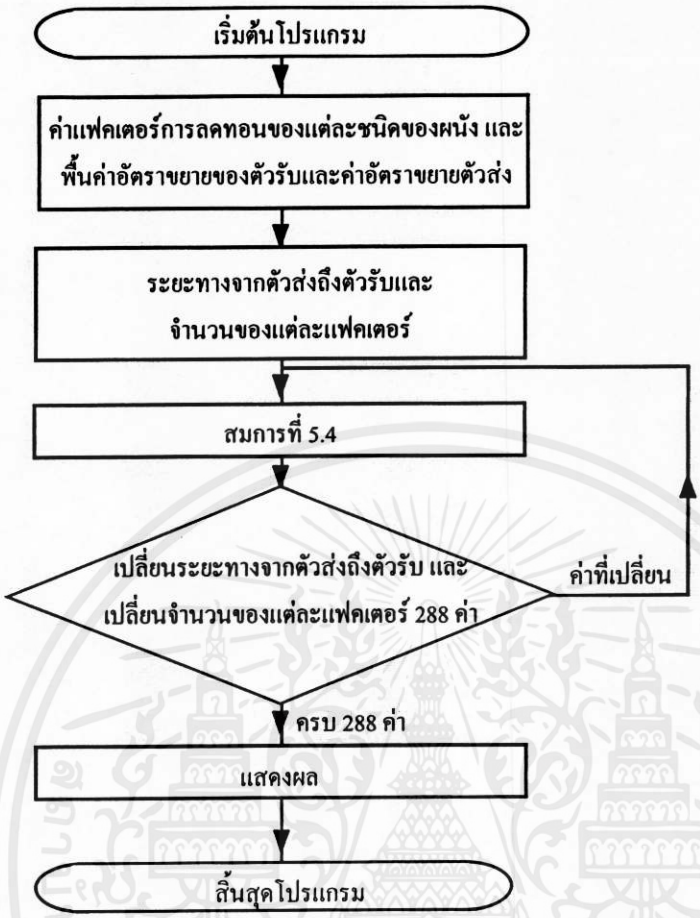
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าการลดทอนของผนังและพื้น

แฟคเตอร์	ค่าการลดทอน	ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน(δ)	จำนวนที่ทำการวัด
ผนังกระจก	0.5	1.8	10
ผนังกระดาน	2.5	2.5	10
ผนังปูน	8	2.6	10
พื้นซิเมนท์	18	4.4	10

5.3 ผลของการคำนวนโดยใช้โปรแกรม

สมการที่ 5.4 โดยใช้เซลสเตชั่นที่มีขนาดกำลังส่ง 10 mW สายอากาศเป็นชนิดกระจายคลื่นรอบตัวแบบไดเวอร์ซิตี้ และกำหนดให้ค่าแฟคเตอร์ของการลดทอนคลื่นของพื้นมีค่าเท่ากับ 18 dB เนื่องจากเป็นพื้นปูนซีเมนต์ และแฟคเตอร์ของการลดทอนคลื่นจากผนังที่ทำด้วยอิฐบล็อค ไม้อัด และผนังจากกระจกมีค่าเป็น 8 dB 2.5 dB และ 0.5 dB ตามลำดับ ส่วนจำนวนของแฟคเตอร์ต่างๆ จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเส้นทางนั้นๆโดยโฟชาร์ตของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวนแสดงในรูปที่ 5.1 โดยทำการคำนวนค่าทั้งหมด 288 ค่า

โปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วย MATLAB Version 5.11 ซึ่งออกแบบให้มีรูปแบบที่สามารถใช้งานได้ง่าย โดยมีหน้าต่างเพื่อให้ใส่ค่าแฟคเตอร์ต่างๆได้ง่ายดังแสดงในรูปที่ 5.2 ซึ่งเป็นส่วนของหน้าต่างหลัก โดยมี 3 หัวข้อให้เลือก ในหัวข้อ File เป็นส่วนของการปิดเมื่อไม่ต้องการใช้โปรแกรมนี้ หัวข้อที่สองคือ Simulate เป็นส่วนของการกำหนดค่าแฟคเตอร์ต่างๆ โดยเป็นการกำหนดจำนวนของสิ่งกีดขวางชนิดต่างๆ ค่าของอัตราขยายของสายอากาศ และค่าการลดทอนของ



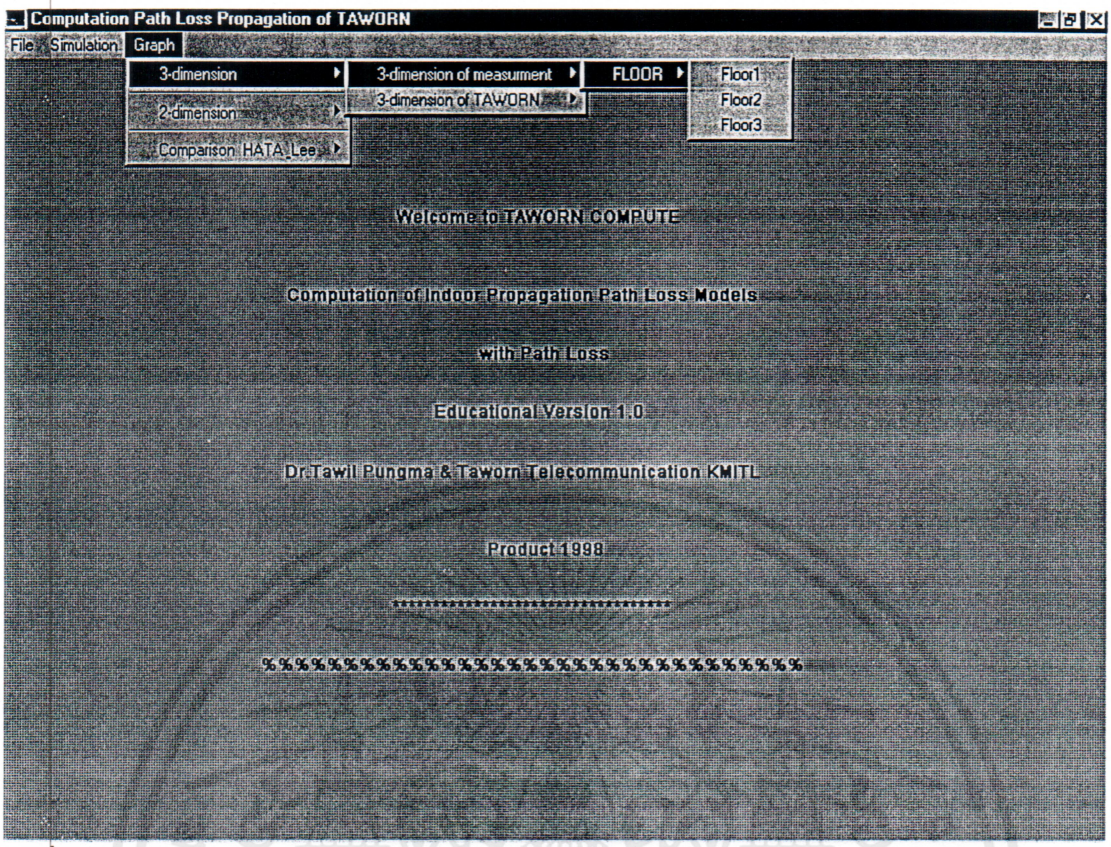
รูปที่ 5.1 แสดงโฟชาร์ตของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวน

สิ่งกีดขวางชนิดต่างๆ หัวข้อย่อยสุดท้ายเป็นหัวข้อของผลที่ได้จากการคำนวนโดยแทนค่าที่กำหนดข้างต้นลงในสมการที่ได้ออกแบบขึ้น โดยแสดงผลเป็นกราฟ สอง และ สาม มิติ และยังมีส่วนของผลที่ได้จาการทดลอง นอกจากนี้จะนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับสมการที่มีอยู่เดิมในลักษณะกราฟสเกลล็อก

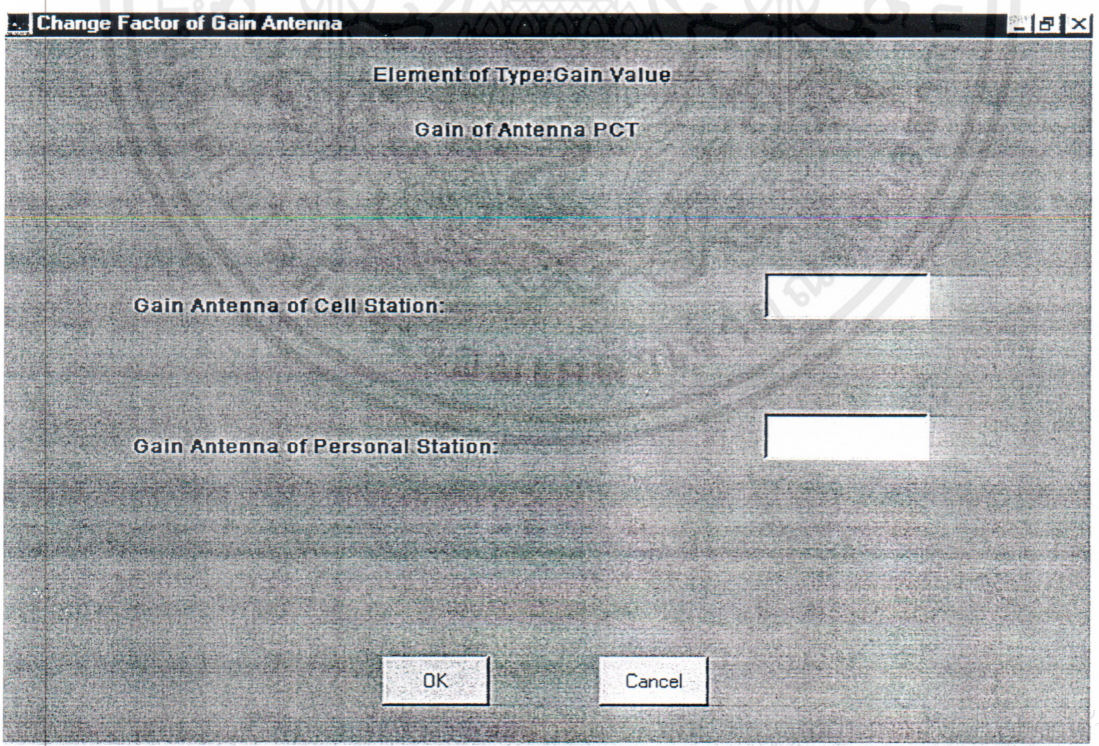
ในส่วนของหน้าต่างการกำหนดค่าอัตราขยายของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 5.3 โดยทำการใส่ค่าลงในช่องสี่เหลี่ยมที่ว่างไว้คือส่วนของ อัตราขยายของสายอากาศของเซลสเตชั่น และค่าอัตราขยายของสายอากาศเครื่องลูกข่าย เมื่อกำหนดแล้วก็กดปุ่ม OK ค่าที่กำหนดจะไปแทนที่ในสมการ แต่ถ้าไม่ใช้ให้กด Cancel

อีกหน้าต่างหนึ่งที่ใช้กำหนดค่าการลดทอนของแฟคเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.4 โดยมีช่องว่างให้ใส่ค่าการลดทอนของสัญญาณ ของผนังที่ทำด้วย ปูน กระดานอัด กระจก และพื้นซิเมนต์ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

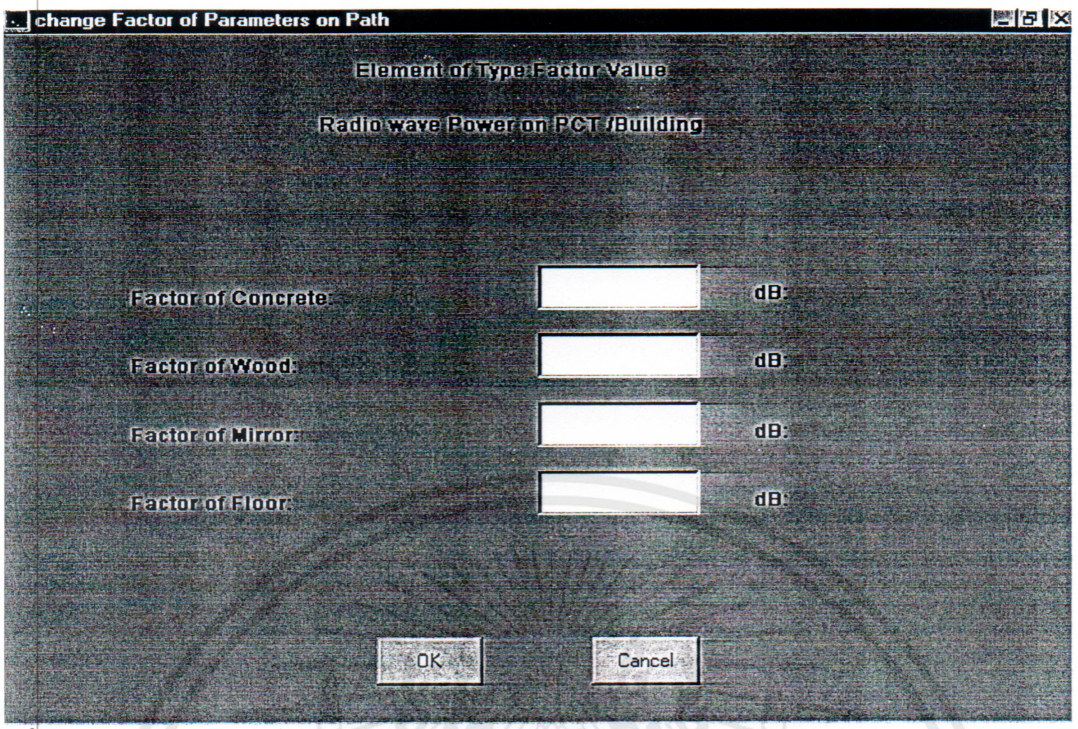


รูปที่ 5.2 แสดงส่วนของหน้าต่างหลักของโปรแกรม



รูปที่ 5.3 หน้าต่างที่ใช้กำหนดค่าของอัตราขยายของสายอากาศ

เอกสาร ... านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



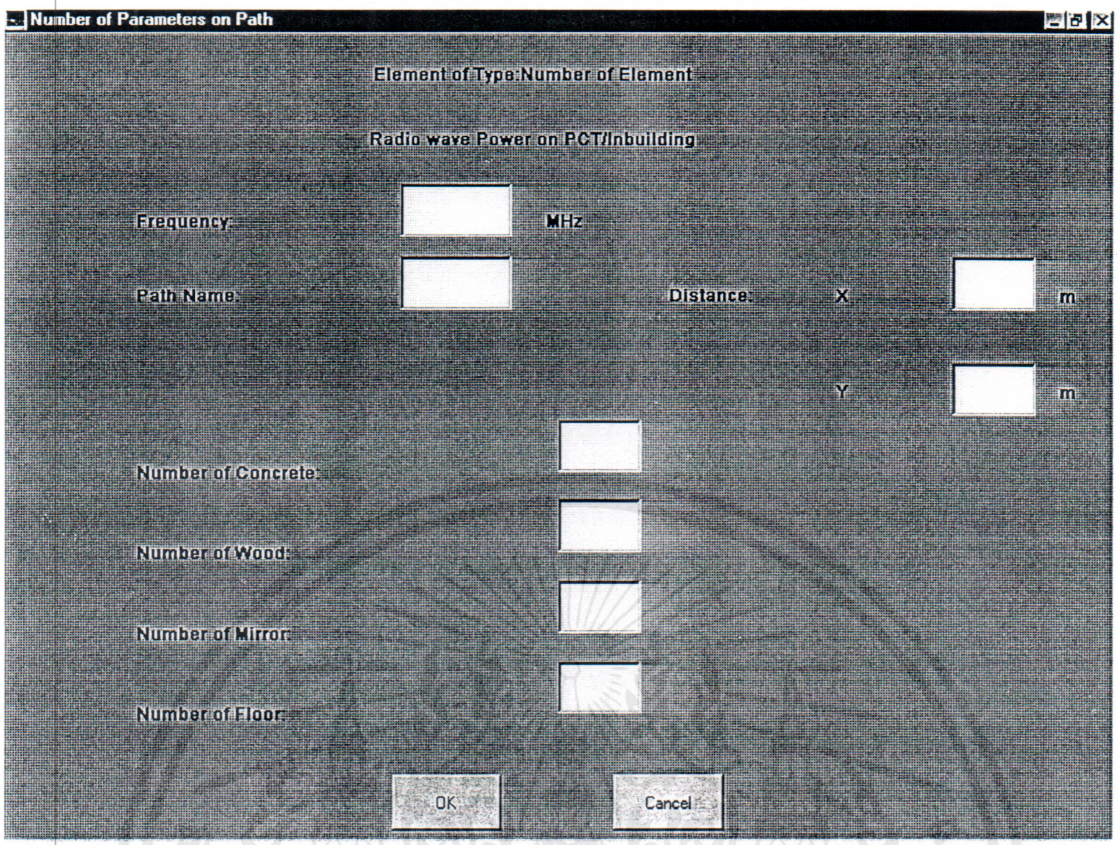
รูปที่ 5.4 หน้าต่างของการกำหนดค่าการลดทอนของสิ่งกีดขวางต่างๆ

ค่าที่ได้จากทดลองส่งสัญญาณผ่านสิ่งกีดขวางนั้น ซึ่งเมื่อกำหนดค่าต่างๆแล้งกด OK ค่าที่กำหนดจะแทนค่าลงไปในสมการที่ออกแบบขึ้น แต่เมื่อต้องการยกเลิกก็กด Cancel เช่นกัน

หน้าต่างสุดท้ายเป็นหน้าต่างที่ใช้กำหนดระยะทางและจำนวนของสิ่งกีดขวางในเส้นทางนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.5 โดยที่มีช่องว่างให้ใส่ ความถี่ที่ใช้งานมีหน่วยเป็น MHz ระยะทางในแนวแกน x และแนวแกน y จากเซลสเตชั่นจนถึงจุดที่เราสนใจ ซึ่งมีหน่วยเป็นเมตร และมีช่องว่างเพื่อให้ใส่ในส่วนจำนวนของสิ่งกีดขวางในเส้นทางนั้นๆ ว่ามีจำนวนของผนัง ปูน กระดานอัด กระจก และพื้นซิเมนต์ จำนวนเท่าไร เมื่อใส่ค่าครบทุกเส้นทางแล้วกดปุ่ม OK ค่าระยะทางและจำนวนจะไปแทนค่าลงในสมการ และพร้อมที่จะแสดงผลในหัวข้อย่อย Graph

โดยเมื่อใส่ค่าต่างๆ ในหน้าต่างข้างต้น โดยการกำหนดจุดที่จะคำนวนหาระดับของสัญญาณของอาคารทั้งหมดในแต่ละชั้น 288 ค่า ทำให้สามารถแสดงผลเป็นในรูปของ 3 มิติ และ 2 มิติโดย รูปที่ 5.6 เป็นผลที่ได้จากการกำหนดค่าต่างๆจากชั้นที่ 1 ของอาคารโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งใช้ค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากผนังและพื้นในตารางที่ 5.1 และส่วนของระยะทางและจำนวนได้จากแผนผังชั้น 1 ของอาคาร ส่วนในรูปที่ 5.7 แสดงผลของชั้น 2 และรูปที่ 5.8 เป็นผลของชั้น 3 ซึ่งค่าระยะทางก็กำหนดจากแผนผังของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

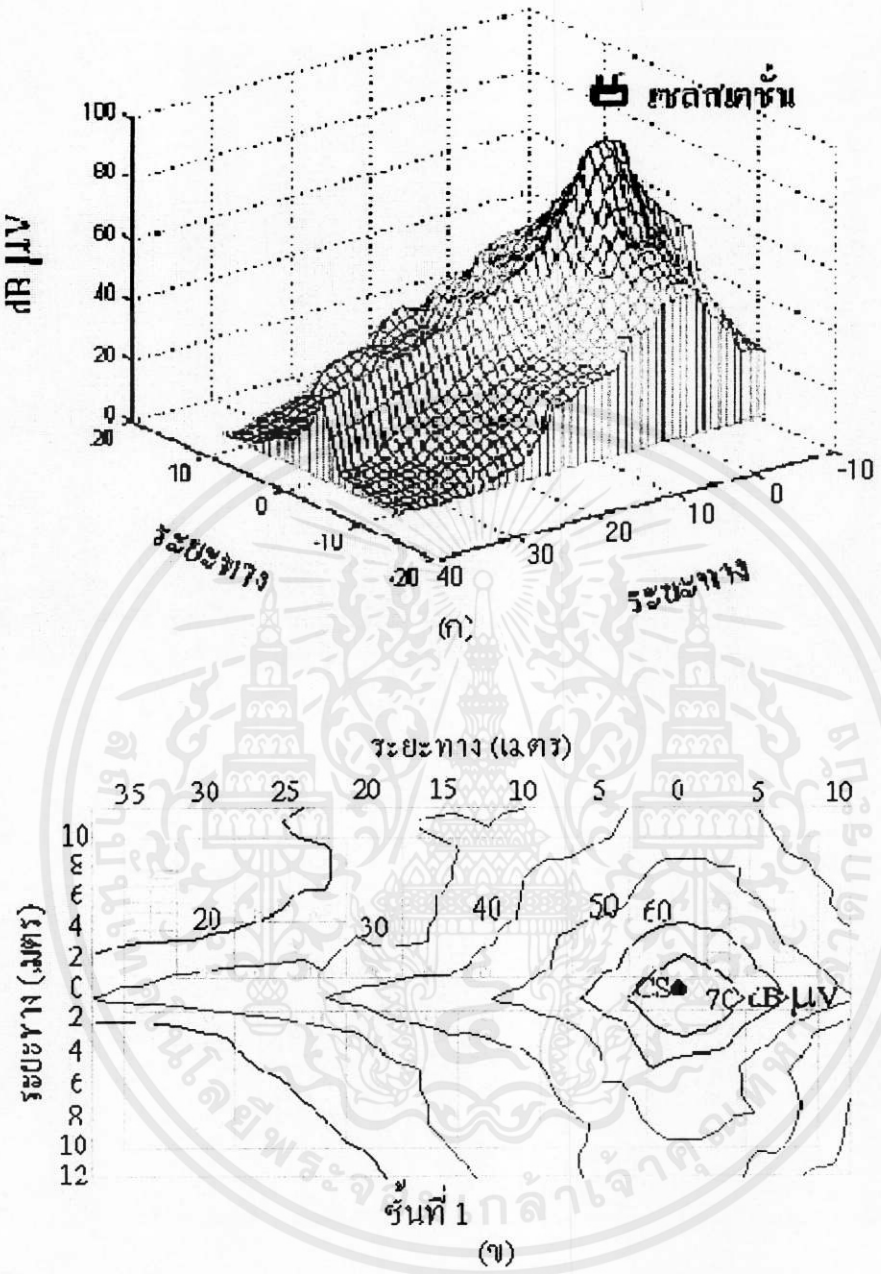


รูปที่ 5.5 แสดงหน้าต่างที่ใช้กำหนดค่าระยะทางและจำนวนของแฟคเตอร์ต่างๆ

ในรูปที่ 5.6 (ก) รูปที่ 5.7 (ก) และรูปที่ 5.8 (ก) แสดงผล 3 มิติ ของชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าบริเวณรอบๆที่ติดตั้งเซลสเตชั่นจะมีระดับสัญญาณแรงมากประมาณ 70-80 dBμV โดยระดับสัญญาณจะลดลงเนื่องจากการลดทอน 2 ชนิดคือการลดทอนเนื่องจากระยะทางและการลดทอนเนื่องจากการที่สัญญาณผ่านผนังต่างๆ สำหรับแนวตรงกลางรูปจะมีลักษณะเป็นสันยาว เนื่องจากในสถานที่จริงเป็นบริเวณตรงกลางของอาคารซึ่งเป็นแนวทางเดิน โดยเป็นการลดทอนเนื่องจากระยะทางที่เพิ่มขึ้นเพียงอย่างเดียว ไม่มีการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากสิ่งกีดขวาง ซึ่งระดับสัญญาณตลอดแนว 40-80 dBμV เป็นระดับสัญญาณที่สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี และเมื่อสัญญาณผ่านผนังปูนที่กั้นระหว่างทางเดินกับห้องพักอาจารย์ ระดับสัญญาณจะเกิดการลดทอนอย่างมาก โดยลดลงประมาณ 8 dBμV และระดับสัญญาณจะลดลงมากขึ้นเมื่อผ่านผนังเพิ่มขึ้น

สำหรับรูปที่ 5.6 (ข) จะแสดงผลที่ได้จากการคำนวนในรูปแบบ 2 มิติ ในชั้นที่ 1 พบว่าระดับสัญญาณสามารถคลอบคลุมได้พื้นที่ในชั้นนี้ โดยเฉพาะตลอดแนวทางเดินจะมีระดับสัญญาณที่แรงกว่าในแนวอื่น โดยในส่วนช่วงท้ายของอาคารระดับสัญญาณจะอ่อนกว่าระดับสัญญาณที่ใกล้เซลสเตชั่น แต่ก็ยังสามารถใช้งานได้

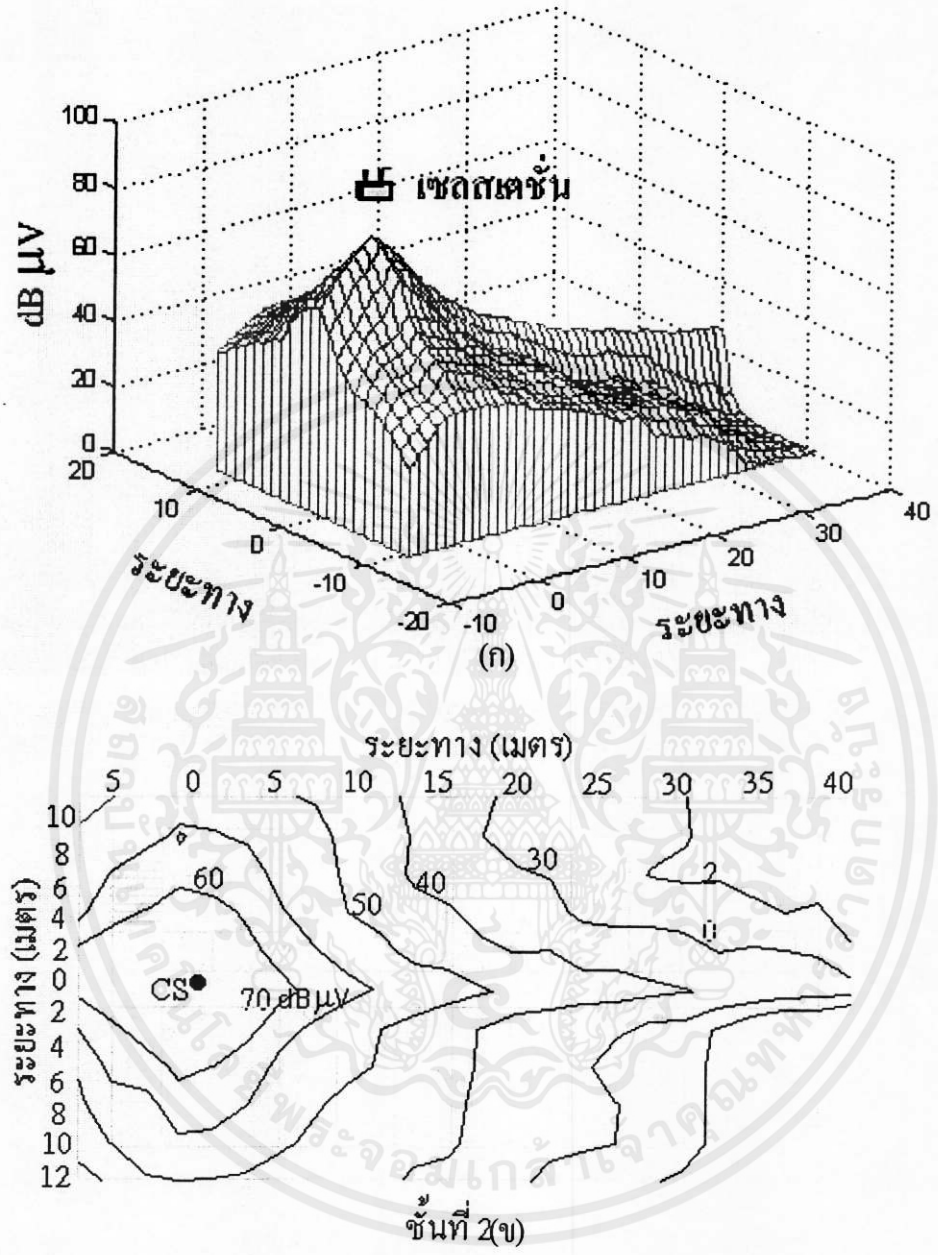
เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงผลชั้น 1 ของอาคารโทรคมนาคม ที่ได้จากการคำนวนจากสมการที่ออกแบบขึ้นโดยใช้โปรแกรม

รูปที่ 5.7 (ข) เป็นผลที่แสดงระดับสัญญาณในรูปของ 2 มิติ ของชั้นที่ 2 ของอาคารโทรคมนาคม ที่ได้จากการคำนวนโดยใช้สมการที่ออกแบบขึ้นเช่นกัน ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับผลในรูปที่ 5.6 (ข) แต่ระดับสัญญาณจะมีลักษณะตรงข้ามกับชั้นที่ 1 เนื่องมาจากตำแหน่งการติดตั้งเซลสเตชั่นอยู่คนละด้านตามความยาวของอาคาร

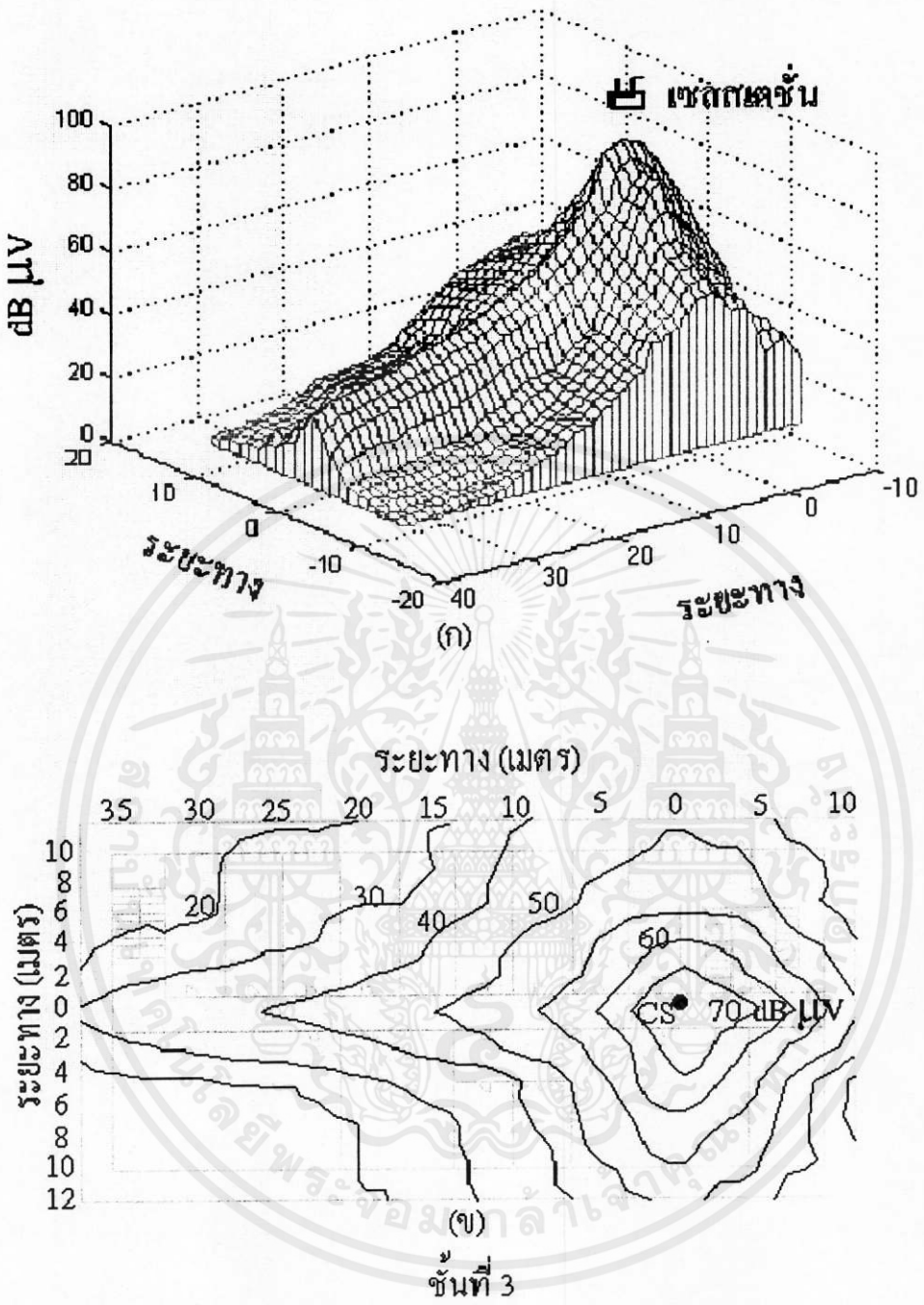
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงผลชั้น 2 ของอาคารโทรคมนาคม ที่ได้จากการคำนวนจากสมการที่ออกแบบขึ้นโดยใช้โปรแกรม

ส่วนในรูปที่ 5.8 (ข) เป็นระดับสัญญาณในชั้นที่ 3 จะเห็นได้ว่ามีลักษณะของสัญญาณในแนวเดียวกับชั้นที่ 1 แต่แตกต่างจากระดับสัญญาณของชั้นที่ 2 เพราะตำแหน่งการติดตั้งเซลสเตชั่นในชั้นที่ 1 และชั้นที่ 3 อยู่ในแนวของอาคารเดียวกัน ซึ่งการออกแบบการคำนวนโดยใช้สมการก็คำนึงถึงการรบกวนกันของสัญญาณระหว่างชั้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงผลชั้น 3 ของอาคารโทรคมนาคม ที่ได้จาการคำนวนจากสมการที่ออกแบบขึ้นโดยใช้โปรแกรม

5.4 ผลของการทดสอบในพื้นที่จริง

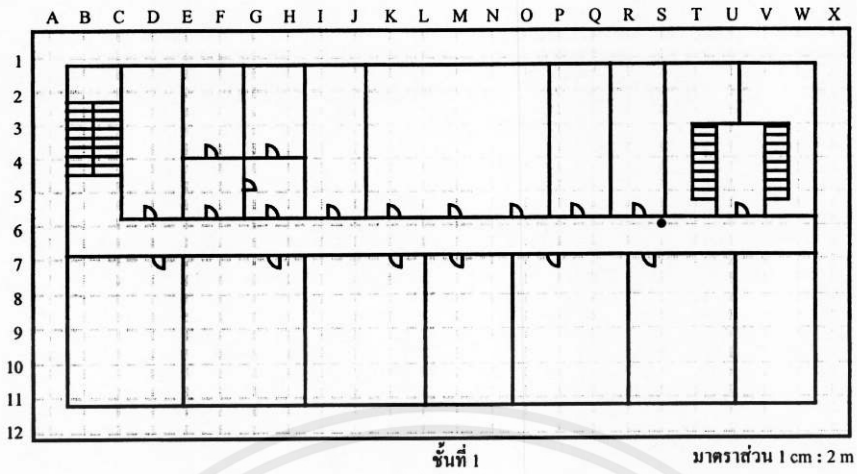
ในการวัดระดับสัญญาณในพื้นที่จริงโดยใช้ ตึกโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเพื่อสามารถเปรียบเทียบกับสมการที่ออกแบบขึ้น ซึ่งทำการวัดสัญญาณด้วยเครื่องวัดระดับสัญญาณของ NEC รุ่น CP6H3E1-2A ดังแสดงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

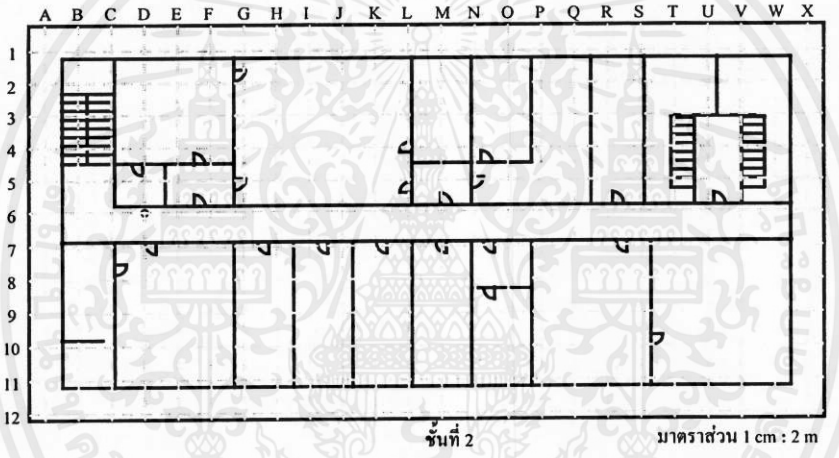
รูปที่ 5.9 ในแบบจุดต่อจุดจำนวนทั้งสิ้น 288 จุด (แต่ละจุดห่างกัน 1 เมตร) โดยโครงสร้างของอาคารจะเป็นอาคาร 3 ชั้นเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีขนาดความกว้างของอาคาร 20 เมตร ยาว 44 เมตร และสูง 12 เมตร โดยมีช่องทางเดินอยู่ตรงกลาง และสองข้างของทางเดินเป็นห้องพักของอาจารย์ ดังแสดงในรูปที่ 5.10 เป็นแผนผังของห้องในแต่ละชั้น ดังนั้นในการติดตั้งเซลสเตชั่นภายในอาคารจะติดตั้งชั้นละ 1 เซลสเตชั่น โดยครั้งแรกติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางของแต่ละชั้น ปรากฏผลของการทดสอบตามรูปที่ 5.11 (ก) ซึ่งมีการรบกวน (Interference) ของสัญญาณระหว่างชั้นต่อชั้น จึงได้เคลื่อนย้ายเซลสเตชั่นในแต่ละชั้นให้เป็นรูปลักษณะฟันปลา ผลของการวางเซลสเตชั่นในรูปแบบนี้สามารถลดการรบกวนระหว่างเซลในแต่ละชั้นลงไปได้ และผลของการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นไปตามรูปที่ 5.11(ข) จากนั้นจึงทำการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นในแต่ละชั้น ได้ผลการกระจายคลื่นของสัญญาณดังรูปที่ 5.12 รูปที่ 5.13 และรูปที่ 5.14 โดยในรูปที่ 5.12 (ก) เป็นระดับสัญญาณในชั้นที่ 1 ที่แสดงผลระดับสัญญาณในลักษณะ 3 มิติ ส่วนในรูปที่ 5.13 (ก) และ รูปที่ 5.14(ก) ส่วนเป็นผลของระดับสัญญาณในชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ตามลำดับ สำหรับในรูปที่ 15.2 (ข) รูปที่ 15.3 (ข) และรูปที่ 15.4(ข) เป็นผลที่ได้จากการวัดระดับสัญญาณ ในรูปแบบของ 2 มิติ ในชั้นที่ 1 ชั้น ที่ 2 และชั้นที่ 3 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

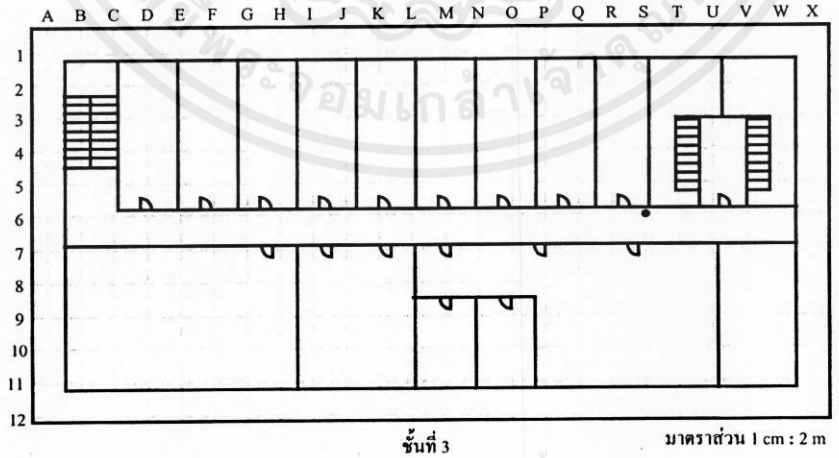
รูปที่ 5.9 แสดงเครื่องวัดระดับสัญญาณ



(ก)



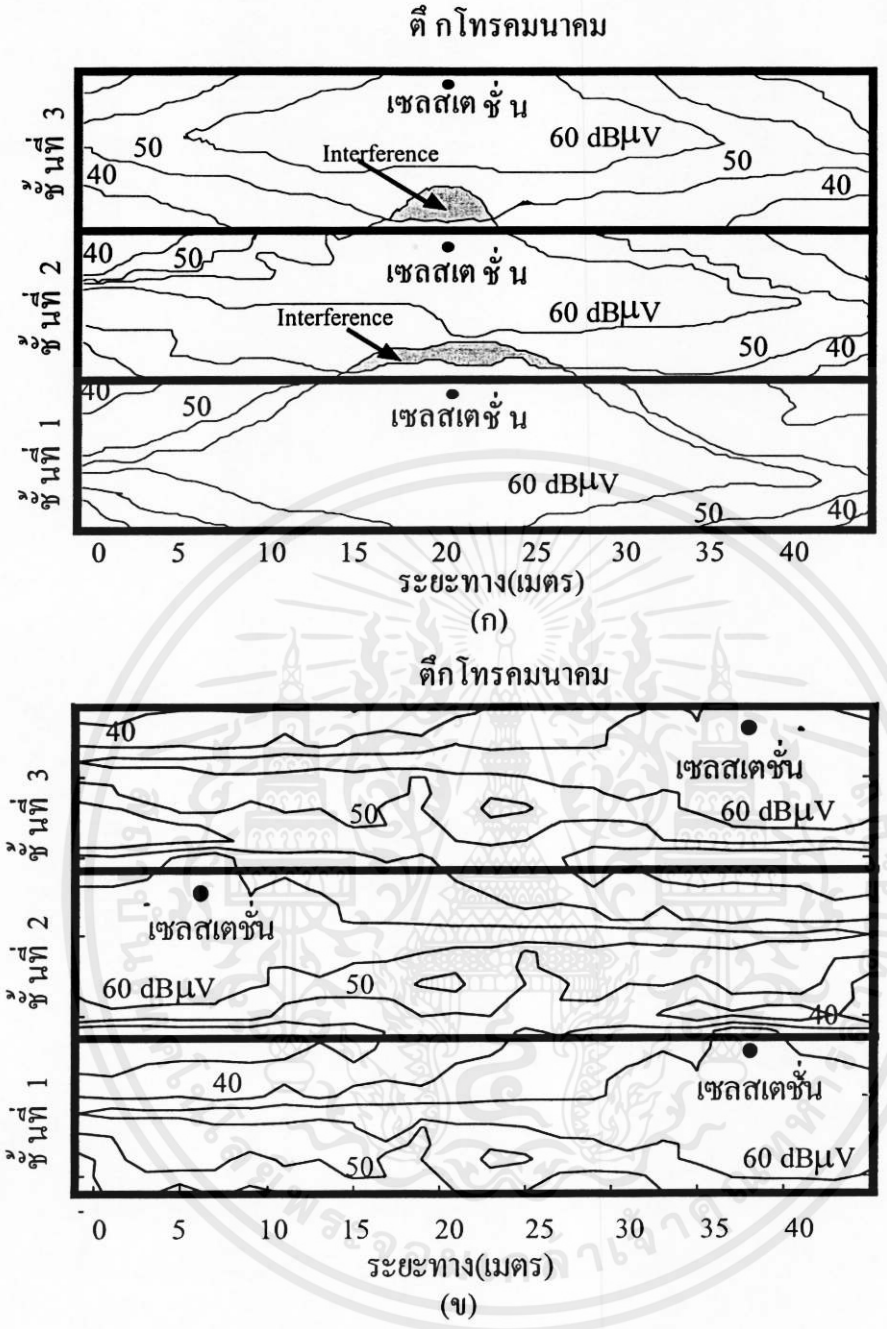
(ข)



(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

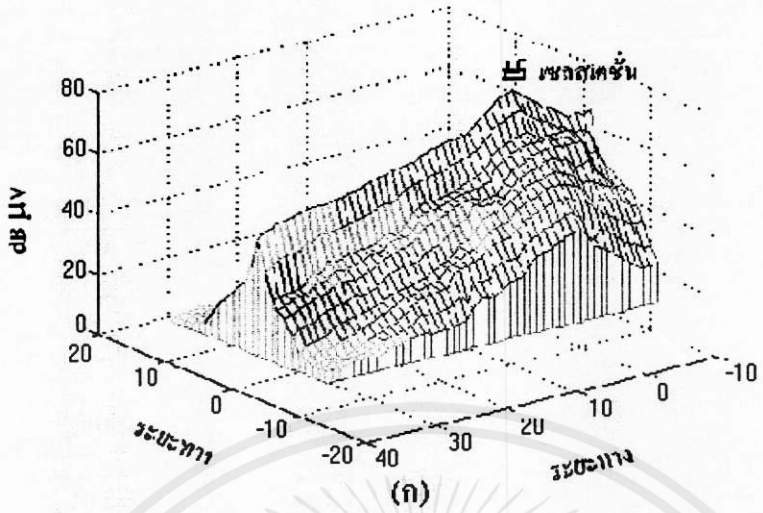
รูปที่ 5.10 แสดงแผนผังของห้องทั้ง 3 ชั้นของตึกโทรคมนาคม ภาควิชาโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



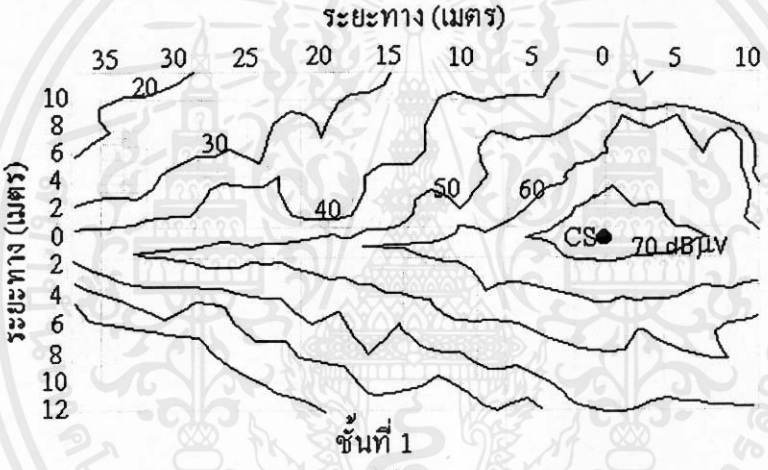
รูปที่ 5.11 แสดงการเกิดอิเตอร์เฟอร์เรนท์

ในรูปที่ 5.12 (ค) รูปที่ 5.13 (ค) และ รูปที่ 5.14(ค) เป็นผลที่แสดงให้เห็นถึงระดับสัญญาณที่เกิดการแกว่างตัว(fading) ในแนวทางเดินของอาคารทั้ง 3 ชั้น พบว่าในชั้นที่ 1 มีการแกว่งสัญญาณสูงสุดประมาณ 9 dBμ ส่วนในชั้นที่ 2 ประมาณ 18 dBμ และชั้นที่ 3 ประมาณ 12 dBμ ซึ่งการแกว่งของระดับสัญญาณพิจารณาจากระดับสัญญาณสูงสุดเทียบกับระดับสัญญาณต่ำสุด

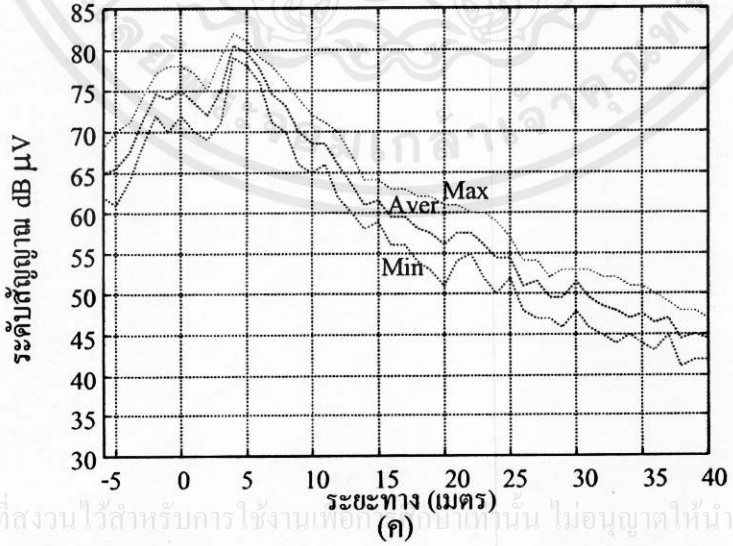
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



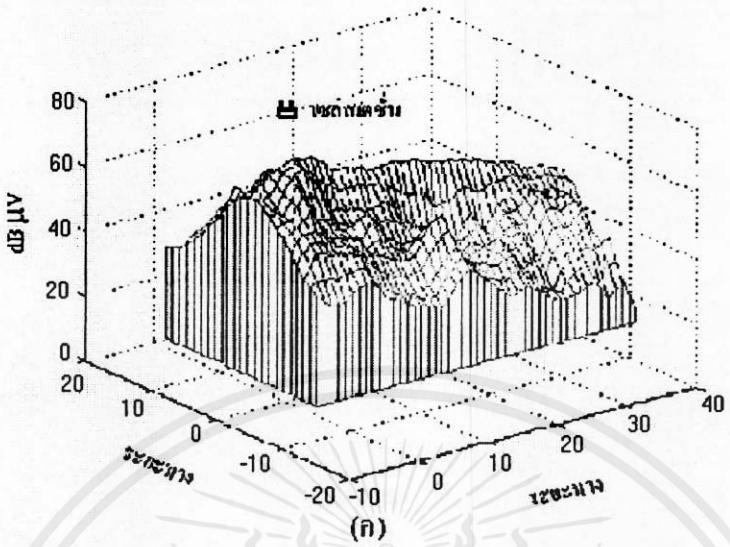
(ข)



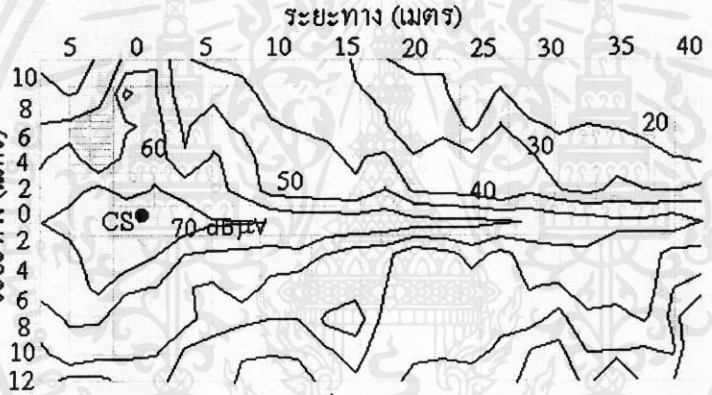
(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.12 ผลของระดับสัญญาณที่ได้จากการทดลองในชั้นที่ 1 ของอาคารโทรคมนาคม KMITL

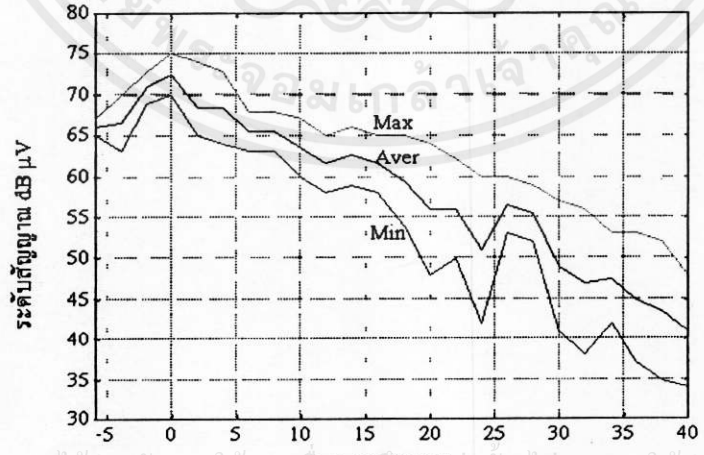


(ก)



ชั้นที่ 2

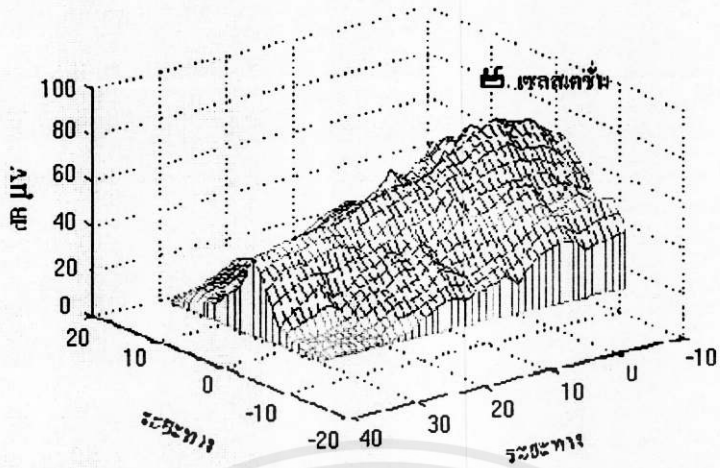
(ข)



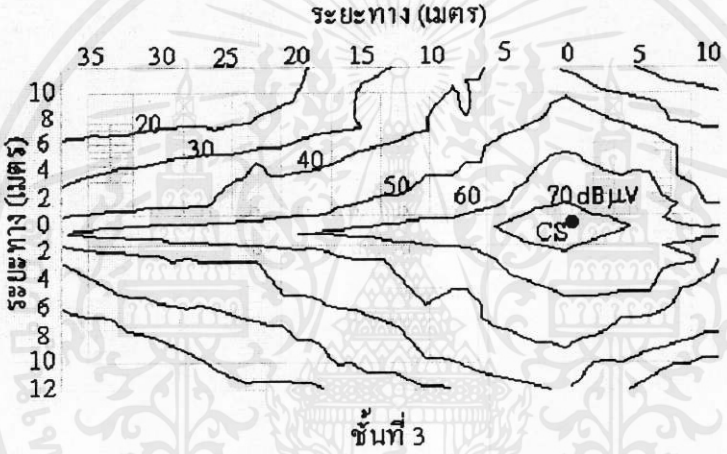
(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.13 ผลของระดับสัญญาณที่ได้จากการทดลองในชั้นที่ 2 ของอาคารโทรคมนาคม KMITL

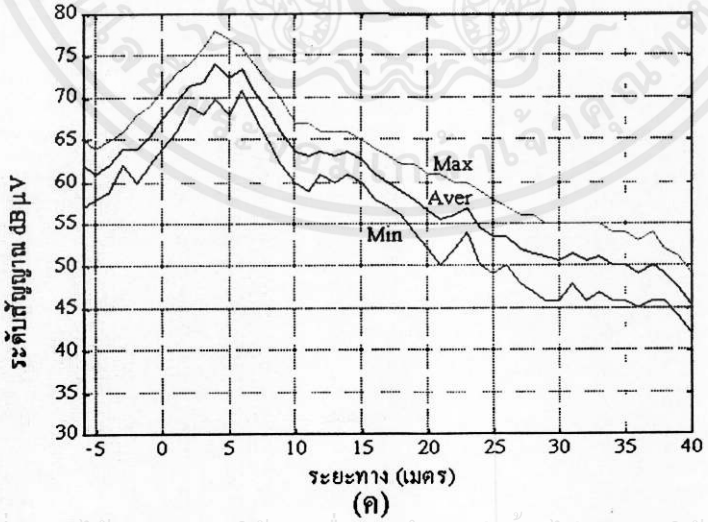


(ก)



ชั้นที่ 3

(ข)



(ค)

รูปที่ 5.14 ผลของระดับสัญญาณที่ได้จากการทดลองในชั้นที่ 3 ของอาคารโทรคมนาคม KMITL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวนและผลจากการทดลอง

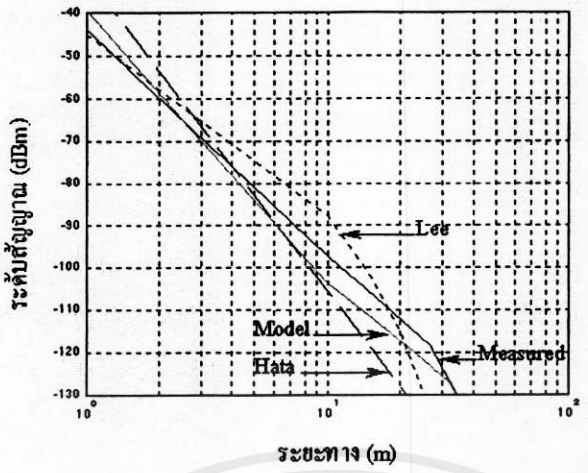
เมื่อเปรียบเทียบผลที่จากการทดลองกับผลที่ได้จากการคำนวนจากสมการที่ออกแบบขึ้นทั้งที่แสดงผลในรูปแบบ 3 มิติ และ 2 มิติ จะเห็นได้ว่ามีลักษณะที่ใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชั้นของอาคาร กล่าวคือบริเวณที่ใกล้ตำแหน่งวางเซลสเตชั่นจะมีระดับสัญญาณแรงมากและจะลดลดเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นและผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆ ดังแสดงในรูปต่างๆที่ผ่านมา เหตุที่ผลจากการคำนวนจากสมการไม่เหมือนกับการทดลองทุกประการเนื่องมาจากในพื้นที่จริงยังมีแฟคเตอร์อื่นๆ เช่น เฟอร์นิเจอร์ เครื่องมือต่างๆ และ อุปกรณ์สำนักงานซึ่งสิ่งต่างๆเหล่านี้มีผลต่อสัญญาณในอาคารทั้งสิ้น แต่ในการคำนวนจากสมการไม่ได้คำนึงถึง เนื่องจากอาคารต่างๆจะมีลักษณะแฟคเตอร์เหล่านั้นต่างกัน

นอกจากนี้จากการทดลองวัดระดับสัญญาณแสดงผลในหัวข้อ 5.4 และนำมาเปรียบเทียบกับกับผลที่ได้จากการคำนวนโดยใช้สมการการลดทอนของสัญญาณที่ออกแบบขึ้นในหัวข้อที่ 5.3 และสมการการลดทอนของสัญญาณของ HATA ในสมการที่ 4.26 ซึ่งใช้กับอาคารที่มีขนาดปานกลาง และสมการลดทอนของ Lee ในสมการที่ 4.35 โดยกำหนดแฟคเตอร์ต่างๆ เช่นเดียวกับที่ใช้ในสมการที่ได้ออกแบบขึ้น ซึ่งทำการคำนวนและทดลองในแนวเส้นทะแยงมุมของอาคารโดยผลของการเปรียบเทียบแสดงในรูปที่ 5.15 ซึ่งรูป (ก) เป็นผลชั้นที่ 1 ของอาคาร ส่วนรูป (ข) และ (ค) เป็นผลของชั้นที่ 2 และ3 ตามลำดับ จากรูปกราฟแสดงให้เห็นได้ว่า ผลจากการวัดระดับสัญญาณมีค่าใกล้เคียงกับสมการที่ได้ออกแบบขึ้นมากกว่า สมการการลดทอนของ HATA และของ Lee โดยผลที่ได้จากสมการการลดทอนที่ได้การออกแบบขึ้นทั้ง 3 ชั้น ของอาคารมีผลแตกต่างกันน้อยมาก ไม่เกิน 6 dBμV จึงถือได้ว่าสามารถใช้สมการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้สำหรับการออกแบบติดตั้งเซลสเตชั่นภายในอาคารที่ใช้ในประเทศไทยได้เป็นอย่างดี

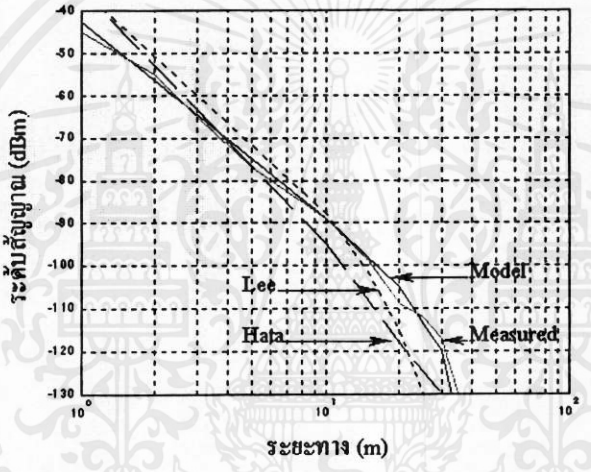
5.6 วิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางเซลสเตชั่นในอาคาร

จากการออกแบบการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นในอาคารโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ KMITL ตำแหน่งที่เหมาะสมของการติดตั้งเซลสเตชั่นมากที่สุด คือจะติดด้านใดด้านหนึ่งของอาคารในลักษณะสลับฟันปลาเพื่อป้องกันในการเกิดอินเตอร์เฟอเรนท์ระหว่างชั้นของอาคาร โดยอาคารที่จะติดในลักษณะนี้ต้องเป็นอาคารที่มีขนาดความยาวไม่เกิน 30 เมตร เพราะเซลสเตชั่นที่มีขนาด 10 mW ที่ใช้ในอาคารสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ไกล 30-50 เมตร โดยตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งต้องสามารถครอบครอบคลุมทุกพื้นที่ในอาคารและไม่เกิดอินเตอร์เฟอร์เรนท์ระหว่างชั้นอาคาร โดยการแกว่งตัวของระดับสัญญาณ(Fading) ต้องไม่เกิน 18 dB ตามมาตรฐาน ซึ่งถ้าเกินอาจจะต้องพิจารณาเปลี่ยนแปลงสถานที่ติดตั้งเซลสเตชั่นไม่ให้อยู่ใกล้วัสดุที่สะท้อนคลื่นมากนัก อย่างไรก็ตามจากการทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ ค่าการแกว่งของสัญญาณยังไม่เกิน 18 dB ก็ถือว่ายังเป็นระดับที่ไม่ต่ำกว่ามาตรฐานไม่จำเป็นที่จะต้องแก้ไขแต่ประการใด

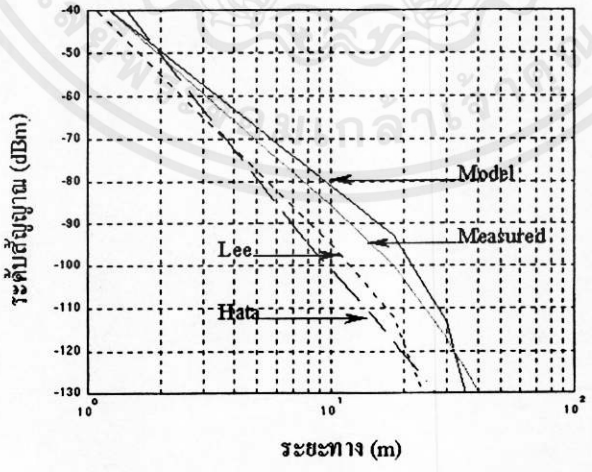
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.15 การเปรียบเทียบระดับสัญญาณจากการทดลองกับสมการต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โดยการออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นจะมีขนาดเล็กหรือเรียกว่า ไมโครเซล ซึ่งเป็นเซลที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ไม่กี่ตารางเมตร ซึ่งทำให้เซลสเตชั่นสามารถควบคุมลูกข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับประเทศไทยก็นำเทคโนโลยีที่ของไมโครเซลมาให้บริการ คือ โทรศัพท์ไร้สายพกพาส่วนบุคคล PCT ซึ่งการออกแบบเซลสเตชั่นจึงจำเป็นอย่างยิ่งในระบบโทรศัพท์ไร้สายชนิดนี้ เนื่องมาจากถ้ามีการติดตั้งตำแหน่งของเซลสเตชั่นที่ไม่ถูกต้องจะทำให้การใช้งานของโทรศัพท์ชนิดนี้เป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

6.1 สรุปผลการออกแบบการวางเซลสเตชั่นในอาคาร

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้เสนอรูปแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคารของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT โดยอาศัยสมการการลดทอนของสัญญาณที่ได้ออกแบบขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย เนื่องมาจากการออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคารโดยใช้สมการการลดทอนของคลื่นที่มีอยู่เดิม ไม่สามารถใช้กับพื้นที่ประเทศไทยได้เพราะ ค่าแฟคเตอร์การลดทอนนั้นต่างๆ เช่น วัสดุที่ใช้ทำอาคารที่ต่างกัน โครงสร้างของอาคารที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ลักษณะการใช้งานของบางระบบก็มีความต่างกันกับการใช้งานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT อีกด้วย

จากการทดลองพบว่าการออกแบบการวางเซลสเตชั่นโดยใช้สมการการลดทอนของสัญญาณที่ออกแบบขึ้นซึ่งคำนึงถึงค่าของแฟคเตอร์การลดทอนของวัสดุต่างๆที่นำมาสร้างอาคารในประเทศไทยผลที่ได้จะมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองไม่เกิน 6 dBm เป็นค่าที่ยอมรับได้ในการใช้ในการออกแบบการวางเซลสเตชั่น สำหรับตำแหน่งที่วางเซลสเตชั่นก็จะมีรูปแบบในลักษณะสลับฟันฟลาเพื่อลดการเกิดอินเตอร์เฟอร์เรนท์ระหว่างชั้นของอาคาร โดยผลที่ได้จะเกิดการเฟดดิ้งของสัญญาณน้อยกว่า 18 dB ต่ำกว่ามาตราฐานที่ระบบกำหนด ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนตำแหน่งในการติดตั้งเซลสเตชั่นแต่อย่างใด ซึ่งในการวางเซลสเตชั่นในอาคารอื่นก็สามารถออกแบบการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นโดยใช้สมการที่ได้ออกแบบขึ้น โดยทดลองแฟคเตอร์ต่างๆซึ่งยังไม่ทราบ เช่น ถ้าอาคารนั้นมีผนังที่เป็นชานอ้อย หรืออิฐที่มีความหนาต่างจากวิทยานิพนธ์นี้ ผู้ออกแบบการติดตั้งเซลในอาคารควรทำการหาค่าการลดทอนจากแฟคเตอร์โดยการส่งคลื่นผ่านผนังชนิดต่างๆดังกล่าว

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบ

ในส่วนของปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบการวางเซลสเตชั่นในอาคารนั้นมีสองส่วนคือ ส่วนแรกที่สำคัญมากคือค่าแฟคเตอร์การลดทอนของผนังชนิดต่างๆที่ได้จากการทดลองต้องมีความถูกต้องมากที่สุด ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ทำการทดลองส่งคลื่นผ่านผนัง 10 ครั้ง ซึ่งถ้าต้องการความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้นก็ทำทดลองในจำนวนครั้งที่มากขึ้นแล้วนำมาเฉลี่ยจะได้ค่าแฟคเตอร์การลดทอนของผนังต่างๆที่ถูกต้องยิ่งขึ้น ส่วนที่สองในการวัดระดับสัญญาณจะทำการวัดในลักษณะแบบจุดต่อจุดซึ่งแต่ละจุดห่างกัน 1 เมตร ผลที่ได้จะมีความเที่ยงตรงยิ่งขึ้น ถ้ามีแบ่งพื้นที่ในการวัดระดับสัญญาณที่ละเอียดขึ้น

6.3 ข้อเสนอแนะ

ดังที่ทราบมาแล้วว่าในการให้บริการของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลมี 2 รูปแบบใหญ่ๆ คือ ให้บริการในอาคารและนอกอาคาร ซึ่งการใช้งานของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT จะมีความต่อเนื่องกันอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การติดตั้งเซลสเตชั่นภายในและภายนอกต้องมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งจะทำให้การแฮนด์โอเวอร์ของระบบสมบูรณ์ ทำให้การใช้งานต่อเนื่องโดยที่สายไม่หลุดในขณะที่เข้าไปในอาคาร ดังนั้นการออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล PCT ต้องมีการวางแผนกันอย่างมีระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

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

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

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

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

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

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

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

[8] Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT) " Personal Handy-phone for Business and Everyday Life" 1996.

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

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

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

[12] C. Tornevik, J.E. Berg,F. Lotse and M. Madfors, "Propagation Cell Planing and Channel Allocation for Indoor Applications of Cellular System", IEEE Trans. on Veh. Techn., Vol.48, May 1993, pp.867-870.

[13] M. HATA, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Service", IEEE Trans. On Veh. Techn., Vol. VT-29, August 1990,pp.317-325.

[14] P. Mougnol, N. Namung, 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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือจำหน่ายในเชิงการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

[16] T. Pattanatadapong, 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.

[17] 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.

[18] W.C.Y.Lee and D.J.Y.Lee, "In-Building Prediction," IEEE PIMPC'96,Thipei,Taiwan,ROC,October 15-18 ,1996,pp.771-775

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวน การหาการลดทอนของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%Program 'Computation Path Loss Propagation of TAWORN'%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
figure( ...
    'NumberTitle','off', ...
    'Name','Computation Path Loss Propagation of TAWORN', ...
    'MenuBar','None',...
    'Position',[50 100 550 300],...
    'Color',[1 .5 .7],...
    'Pointer','arrow');
set(gca,'position',[0 0 1 1]);
axis off
file_opt = uimenu(gcf,...
    'Label','File');
uimenu(file_opt,...
    'Label','Set Up',...
    'CallBack','setup');
uimenu(file_opt,...
    'Separator','on',...
    'Label','Exit',...
    'CallBack','exitmenu');
sim_opt = uimenu(gcf,...
    'Label','Simulation');
uimenu(sim_opt,...
    'Label','Assign for path',...
    'CallBack','asign');
uimenu(sim_opt,...
    'Label','Change Factor',...
    'CallBack','cha_fac');
uimenu(sim_opt,...
    'Label','Change Gain Antenna',...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    'CallBack','cha_gain');
uimenu(sim_opt,...
    'Label','Superman ',...
    'CallBack','nbonly');
graph_opt = uimenu(gcf,...
    'Label','Graph');
imp_menu=uimenu(graph_opt,...
  'Label','3-dimension');
meas_3menu=uimenu(imp_menu,...
  'label','3-dimension of measurment ');
meas_thd=uimenu(meas_3menu,...
  'Label','FLOOR');
meas_Alld=uimenu(meas_3menu,...
  'Label','All Building',...
  'CallBack','Allbuild');
meas_f1=uimenu(meas_thd,'label','Floor1',...
  'CallBack','thrdfloor1_me');
meas_f2=uimenu(meas_thd,'label','Floor2',...
  'CallBack','thrdfloor2_me');
measu_f3=uimenu(meas_thd,'label','Floor3',...
  'CallBack','thrdfloor3_me');
uimenu(imp_menu,'label','3-dimension of HATA',...
    'CallBack','thr_HATA');
uimenu(imp_menu,'label','3-dimension of C.Y.Lee',...
    'CallBack','thr_Lee');
uimenu(imp_menu,'label','3-dimension of TAWORN',...
    'CallBack','thrdfloor2_ta');
imp_menu=uimenu(graph_opt,...
    'Separator','on',...
  'Label','2-dimension');
meas_twd=uimenu(imp_menu,...
  'label','2-dimension of measurment ');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
meas_twod=uimenu(meas_twd,...
  'Label','FLOOR');
meas_twmnd=uimenu(meas_twd,...
  'Label','max_min_aver',...
  'CallBack','ma_mi_av');
meas_f1=uimenu(meas_twod,'label','Floor1',...
  'CallBack','twodfloor1_me');
meas_f2=uimenu(meas_twod,'label','Floor2',...
  'CallBack','twodfloor2_me');
measu_f3=uimenu(meas_twod,'label','Floor3',...
  'CallBack','twodfloor3_me');
uimenu(imp_menu,'label','2-dimension of HATA',...
     'CallBack','two_HATA');
uimenu(imp_menu,'label','2-dimension of C.Y.Lee',...
     'CallBack','two_Lee');
uimenu(imp_menu,'label','2-dimension of TAWORN',...
     'CallBack','twodfloor2_ta');
uimenu(graph_opt,...
     'Separator','on',...
     'Label','Compare Measu $ HATA',...
     'CallBack','Compare1');
uimenu(graph_opt,...
     'Label','Compare Measu $ C.Y. Lee',...
   'CallBack','Compare2');
uimenu(graph_opt,...
     'Label','Compare Measu $ KANEEN',...
     'CallBack','Compare3');
uimenu(graph_opt,...
     'Label','Compare Measu $ TAWORN',...
     'CallBack','Compare4');
h = text(0,.6,'Welcome to TAWORN COMPUTE',...
     'HorizontalAlignment','Center',...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    'FontWeight','Demi');
axis([-1 1 -1 1]);axis off;
h = text(0,.4,'Computation of Indoor Propagation Path Loss Models',...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi');
h = text(0,.25,'with Path Loss',...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi');
h = text(0,.1,'Educational Version 1.0',...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi');
h = text(0,-.05,'Dr.Tawil Pungma & Taworn Telecommunication KMITL',...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi');
h = text(0,-.25,'Product 1998',...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi');
h = text(0,-.4,'************************************',...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi');
h = text(0,-.55,'%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%',...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi');


%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%% Program assign Path     %%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

Fren=' '
pathn=' '
disx=' '
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
disy=' '
ncon=' '
nwood=' '
nmirr=' '
nflo=' '
figure( ...
    'NumberTitle','off', ...
    'Name','Number of Parameters on Path', ...
    'MenuBar','None',...
    'Position',[50 100 400 200],...
    'Color',[1 .5 .7],...
    'Pointer','arrow');
set(gca,'position',[0 0 1 1]);
axis off

h = text(.5,.95,'Element of Type:Number of Element ',...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');
set(gca,'position',[0 0 1 1]);
axis([-1 1 -1 1]);
axis off;

text(.5,.87,['Radio wave Power on PCT/Inbuilding '],...
    'HorizontalAlignment','Center',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');


text(0.12,.768,'Frequency: ',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
text(0.49,.768,'MHz',...
    'FontWeight','Demi',...
  'Units','Normalized');

Fre_n = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[0.358 .748 .10 .065],'Units','normalized',...
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(Fren),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(Fre_n,"String")) < 1 | str2num(get(Fre_n,"String")) > 999,',...
         'errordlg("Number of locations must be 1 - 2000.","Input Error","on");',...
         'set(Fre_n,"String",num2str(Fren)),',...
         'return,',...
        'end,',...
   'pathn=str2num(get(path_n,"String"));']);



text(0.12,.678,'Path Name: ',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

path_n = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[0.358 .658 .10 .065],'Units','normalized',...
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(pathn),...
    'Callback',[...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        'if str2num(get(path_n,"String")) < 1 | str2num(get(path_n,"String")) > 999,',...
         'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
         'set(path_n,"String",num2str(pathn)),',...
         'return,',...
        'end,',...
    'pathn=str2num(get(path_n,"String"));']);

text(0.60,.678,'Distance: ',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

text(0.75,.678,'X ',...
    'FontWeight','Demi',...
  'Units','Normalized');

text(0.95,.678,'m',...
    'FontWeight','Demi',...
  'Units','Normalized');

text(0.75,.558,'Y ',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

text(0.95,.558,'m',...
    'FontWeight','Demi',...
  'Units','Normalized');


buu_disx = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.854 .658 .075 .065],'Units','normalized',...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(disx),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(buu_disx,"String")) < 1 | str2num(get(buu_disx,"String")) > 999,',...
         'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
         'set(buu_disx,"String",num2str(disx)),',...
         'return,',...
        'end,',...
   'disx=str2num(get(buu_disx,"String"));']);

buu_disy = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.854 .528 .075 .065],'Units','normalized',...
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(disy),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(buu_disy,"String")) < 1 | str2num(get(buu_disy,"String")) > 999,',...
         'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
         'set(buu_disy,"String",num2str(disy)),',...
         'return,',...
        'end,',...
   'disy=str2num(get(buu_disy,"String"));']);

text(0.12,.455,'Number of Concrete:',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

n_con = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.50 .455 .075 .065],'Units','normalized',...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(ncon),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(n_con,"String")) < 1 | str2num(get(n_con,"String")) > 999,',...
         'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
         'set(n_con,"String",num2str(ncon)),',...
         'return,',...
        'end,',...
    'ncon=str2num(get(n_con,"String"));']);

text(0.12,.355,'Number of Wood:',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');

n_wood = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.50 .355 .075 .065],'Units','normalized',...
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(nwood),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(n_wood,"String")) < 1 | str2num(get(n_wood,"String")) > 999,',...
         'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
         'set(n_wood,"String",num2str(nwood)),',...
         'return,',...
        'end,',...
    'nwood=str2num(get(n_wood,"String"));']);

text(0.12,.255,'Number of Mirror:',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
n_mirr = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.50 .255 .075 .065],'Units','normalized',...
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(nmirr),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(n_mirr,"String")) < 1 | str2num(get(n_mirr,"String")) > 999,',...
         'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
         'set(n_mirr,"String",num2str(nmirr)),',...
         'return,',...
        'end,',...
    'nmirr=str2num(get(n_mirr,"String"));']);


text(0.12,.155,'Number of Floor:',...
    'FontWeight','Demi',...
    'Units','Normalized');


n_flo = uicontrol(gcf,...
    'Style','edit',...
    'BackgroundColor','white',...
    'Position',[.50 .155 .075 .065],'Units','normalized',...
    'ForegroundColor','Black',...
    'String',num2str(nflo),...
    'Callback',[...
        'if str2num(get(n_flo,"String")) < 1 | str2num(get(n_flo,"String")) > 999,',...
         'errordlg("Number of locations must be 1 - 999.","Input Error","on");',...
         'set(n_flo,"String",num2str(nflo)),',...
         'return,',...
        'end,',...
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    'nflo=str2num(get(n_flo,"String"));']);


yes_button = uicontrol(gcf,...
    'Style','push',...
    'Position',[.35 .01 .1 .07],'Units','normalized',...
    'String','OK',...
    'CallBack','OK_asign');
no_button = uicontrol(gcf,...
    'Style','push',...
    'Position',[.55 .01 .1 .07],'Units','normalized',...
    'String','Cancel',...
    'CallBack','close');
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้รับการตีพิมพ์ ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พฤศจิกายน 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นภายในอาคารของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT

Cell design for indoor cell station in Personal Communication Telephone (PCT) System

ถาวร ตันหยงมาศกุล เอกพันธุ์ พุทธวงศ์ 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

ในบทความนี้นำเสนอวิธีการออกแบบการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นภายในอาคารที่เหมาะสม สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT โดยได้ทำการออกแบบการวางตำแหน่งติดตั้งภายในโดยใช้อาคารภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นสถานที่ทดลองวัดระดับสัญญาณและนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณการลดทอนของสัญญาณโดยใช้โปรแกรม MATLAB Version 5.1.0 โดยอาศัยสมการของการสูญเสียของสัญญาณในอาคารที่ย่านความถี่ 1900 MHz ร่วมกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น กำลังส่งของเซลสเตชั่น (CS : Cell Station) โครงสร้างของอาคาร อัตราขยายของเครื่อง PCT และอัตราขยายของเซลสเตชั่น เพื่อหาการครอบคลุมพื้นที่ของเซล ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณเมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้สามารถนำมาใช้ในการทำการออกแบบปรับปรุงตำแหน่งเซลเพื่อให้การใช้งานของระบบ PCT มีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถรองรับการใช้งานตามที่ต้องการ

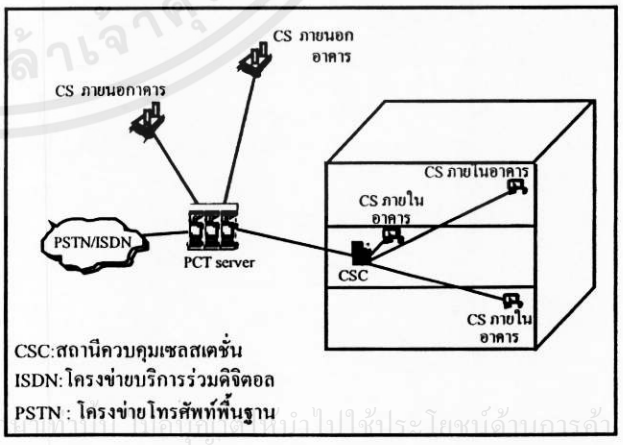
Abstract

This paper presents the indoor cell station layout for Personal Communication Telephone (PCT) system. The cell station was installed at the Telecommunication building, faculty of Engineering, King's Mongkut Institute of Technology Ladkrabang for modeling. The comparison of practical signal level and calculation signal level was calculated by using MATLAB Version 5.1.0 with focus on the following factors such as the propagation path loss in the 1900 MHz frequency band ,cell station output power, the structure of building, gain of personal station and gain of cell station to find the cell coverage area. This results will be used to design the indoor cell station layout to increase the quality of work for PCT system.

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT(Personal Communication Telephone)[1] โดยบริษัทเทเลคอมเอเชีย คอร์เปอร์เรชั่น (มหาชน)จำกัด ซึ่งนำเอาเทคโนโลยี PHS ที่ใช้งานในญี่ปุ่นมาพัฒนาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย โดยให้บริการเลขหมายเดียวกับโทรศัพท์พื้นฐาน (ONS : One Number Service)[2] ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งในบ้าน พื้นที่สาธารณะทั่วไปและในรถยนต์ที่มีความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นอกจากนี้ยังสามารถใช้งานในอาคารสำนักงานต่างๆ แต่ต้องมีการติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคารด้วย เนื่องจากเซลของระบบ PCT เป็นแบบไมโครเซลที่มีกำลังส่งต่ำ ถ้าติดตั้งเซลสเตชั่นเฉพาะภายนอกอาคารจะทำให้สัญญาณไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ทุกพื้นที่ในอาคาร

ในการออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นในอาคารนั้นแตกต่างกับการติดตั้งเซลสเตชั่นนอกอาคารอย่างสิ้นเชิง เนื่องจากสิ่งแวดล้อมในอาคารมีรูปแบบปิดและมีความหนาแน่นของสิ่งกีดขวางคลื่นมาก เช่น ผนังห้อง พื้น และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณอย่างมาก และความถี่ที่ใช้ก็แตกต่างกันโดยภายนอกอาคารใช้ความถี่ในย่าน 1906.250-1915.550 MHz ส่วนในอาคารใช้ความถี่ 1898.150-1905.950 MHz ดังนั้นตำแหน่งของเซลสเตชั่นที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญมากเพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยโครงสร้างของโครงข่ายการติดตั้งเซลสเตชั่นภายในอาคาร แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงข่ายการติดตั้งเซลสเตชั่นภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่า การต่อเซลสเตชั่นในอาคารต้องต่อเข้าที่ สถานีควบคุมเซลสเตชั่น(CSC: Cell Station Controller) โดยตัว CSC นั้นทำหน้าที่คล้ายกับอุปกรณ์ Concentrator จากนั้นก็จะต่อไปยัง PCT Server ซึ่งเป็นอุปกรณ์เครื่องชุมสาย (Switching Equipment) โดยทำหน้าที่ควบคุมการเรียกระหว่างเครื่องลูกข่ายกับเซลสเตชั่น จากนั้นก็ต่อไปยังโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน (PSTN : Public switched telecomunication network) หรือโครงข่ายบริการร่วมดิจิตอล (ISDN : Integrated service digital network)ต่อไป

2.การออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นสำหรับให้บริการภายในอาคาร

ในการออกแบบการติดตั้งเซลสเตชั่นเพื่อให้บริการภายในอาคารสามารถแบ่งได้ เป็น 4 แบบซึ่งแบ่งตามขนาดของพื้นที่ใช้งาน

1. อาคารที่มีขนาดเล็กหลาย ๆ อาคาร
2. อาคารที่มีขนาดปานกลาง
3. อาคารที่ขนาดค่อนข้างใหญ่
4. อาคารที่มีขนาดใหญ่มาก

2.1 อาคารที่มีขนาดเล็กหลาย ๆ อาคาร

เซลสเตชั่นจะติดตั้งไว้อยู่นอกอาคารโดยสามารถส่งคลื่นสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ในอาคารได้ทั้งหมด ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นสามารถทะลุทะลวงผ่านผนังอาคารได้ และสมการการลดทอนของสัญญาณดังสมการของ Hata[3]

$$L_p(r) = L_r(r_0)(r/r_0)^{\alpha 1} L_B(r_0)(r/r_0)^{\alpha 2} A_F \qquad (1)$$

โดย $L_p(r)$ คือการลดทอนของสัญญาณ

$L_r(r_0)$ คือการลดทอนเนื่องจากระยะทางที่ระยะ $r = r_0$

$L_B(r_0)$ คือ การลดทอนเนื่องจากอาคารที่ระยะ $r = r_0$

$\alpha 1$ และ $\alpha 2$ คือแฟคเตอร์การลดทอนเนื่องจากระยะทางและอาคาร

A_F คือ การลดทอนเนื่องจากการทะลุของคลื่นผ่านผนังอาคาร

2.2 อาคารที่มีขนาดปานกลาง

โดยจะติดตั้งเซลสเตชั่นเพียงเซลเดียวอยู่ภายในอาคารและสามารถครอบคลุมพื้นที่ทุกห้องในอาคารโดยสมการการลดทอนของสัญญาณสามารถหาได้จากสมการของ Hata

$$L_p(r) = L_r(r)(r/r_0)^{\alpha p} \qquad (2)$$

เมื่อαp มีค่า 2-3 เมื่อเซลสเตชั่นอยู่ชั้นเดียวกับเครื่องลูกข่าย

และαp มีค่า ≥?3 เมื่อเซลสเตชั่นอยู่ต่างชั้นกับเครื่องลูกข่าย

2.3 อาคารที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่

มีการติดตั้งเซลสเตชั่นในแต่ละชั้นของอาคารโดยที่สามารถหาการลดทอนของสัญญาณได้จากสมการการลดทอนของ Keenan-Motly [4]

$$L_p(r) = (4\pi r/\lambda)^2 - G_r - G_t + a(AF_{w1}) + b(AF_{w2}) + c(AF_{w3}) + d(AF_f) \qquad (3)$$

โดยที่ r คือระยะทาง

λ คือความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้งาน

G_r และ G_t คืออัตราขยายของเครื่องลูกข่ายและเซลสเตชั่น

$AF_{w1}, AF_{w2}, AF_{w3}$ คือแฟคเตอร์ของการลดทอนของผนังชนิดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

AF_f คือแฟคเตอร์ของการลดทอนของพื้น

a b c คือจำนวนของผนังชนิดที่ 1 2 3 ตามลำดับ

d คือจำนวนของพื้น

2.4 อาคารที่มีขนาดใหญ่มาก

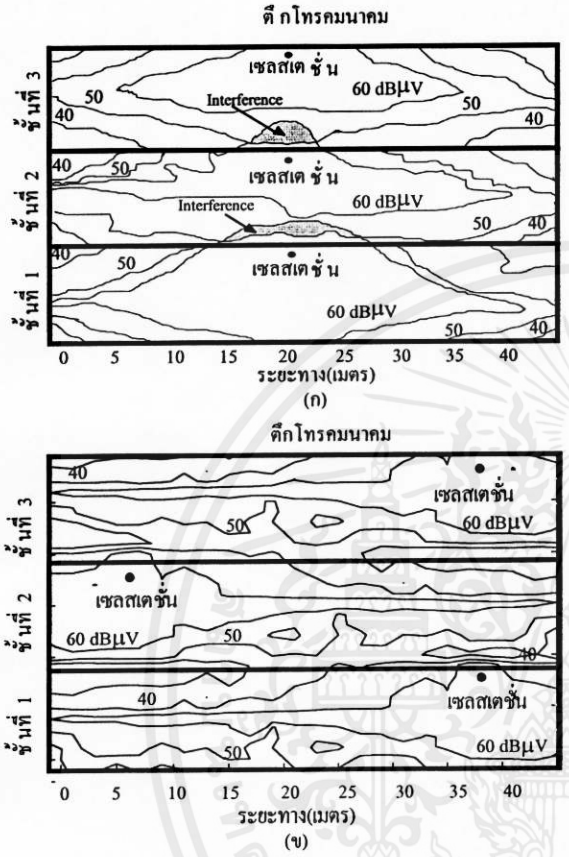
ซึ่งการติดตั้งเซลสเตชั่นจะติดตั้งในแต่ละชั้นหลายๆเซลโดยมากจะติดตั้งในห้องที่มีขนาดใหญ่ จำนวนเซลสเตชั่นจะขึ้นอยู่กับขนาดของห้องและปริมาณการใช้งานในแต่ละห้องนั้น โดยสมการการลดทอนมีลักษณะที่เหมือนกับ สมการที่ 3

3.การทดลอง

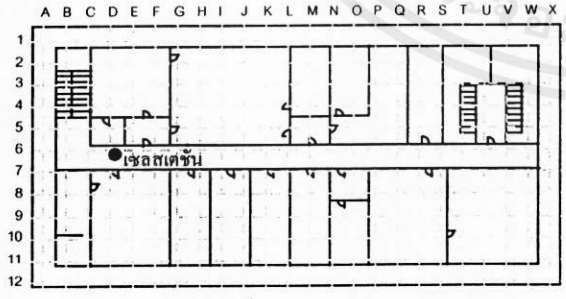
สถานที่ที่ใช้ในการทดสอบจะเลือกใช้ตึกโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นสถานที่ทดสอบโดยโครงสร้างของอาคารจะเป็นอาคาร 3 ชั้นที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ โดยมีขนาดกว้าง 20 เมตร ยาว 44 เมตร และสูง 12 เมตร ดังนั้นในการติดตั้งเซลสเตชั่นภายในอาคารจะติดตั้งชั้นละ 1 เซลสเตชั่น โดยครั้งแรกติดตั้งในตำแหน่งกึ่งกลางของแต่ละชั้น ปรากฏผลของการทดสอบตามรูปที่ 2(ก) ซึ่งมีการรบกวน (Interference) ของสัญญาณระหว่างชั้นต่อชั้น จึงได้เคลื่อนย้ายเซลสเตชั่นในแต่ละชั้นให้เป็นรูปลักษณะฟันปลา ผลของการวางเซลสเตชั่นในรูปแบบนี้สามารถลดการรบกวนระหว่างเซลในแต่ละชั้นลงไปได้ และผลของการแพร่กระจายคลื่นจะเป็นไปตามรูปที่ 2(ข) จากนั้นจึงทำการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นในแต่ละชั้น โดยทำการวัดสัญญาณด้วยเครื่องวัดระดับสัญญาณของ NEC รุ่น CP6H3E1-2A ในแบบจุดต่อจุดจำนวนทั้งสิ้น 288 จุด (แต่ละจุดห่างกัน 2 เมตร) ดังแผนผังในรูปที่ 3 แล้วนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์การกระจายคลื่นด้วยโปรแกรม MATLAB Version 5.1.0 ได้ผลการกระจายคลื่นของสัญญาณดังรูปที่ 4 แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับทฤษฎีตามสมการที่ 3 โดยใช้เซลสเตชั่นที่มีขนาดกำลังส่ง 10 mW สายอากาศเป็นชนิดกระจายคลื่นรอบตัวแบบไดเวอร์ซิตี้ ที่มีเกน 2 dBi และกำหนดให้ค่าแฟคเตอร์ของการลดทอนคลื่นของพื้นมีค่าเท่ากับ 20 dB เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นพื้นปูนซีเมนต์ และแฟคเตอร์ของการลดทอนคลื่นจากผนังที่ทำด้วยอิฐบล็อค ไม้อัด และผนังจากกระจกมีค่าเป็น 10 dB 4.5 dB และ 2 dB ตามลำดับ ส่วนจำนวนของแฟคเตอร์ต่างๆจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเส้นทางนั้นๆ



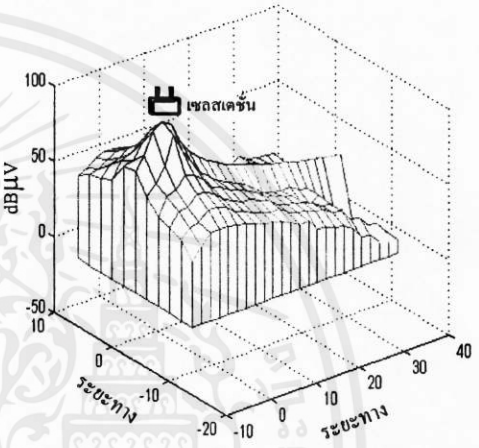
รูปที่ 2 ลักษณะการติดตั้งภายในอาคารโทรคมนาคมที่ใช้ในการทดลอง
(ก) ติดตั้งกึ่งกลางชั้นจะเกิดสัญญาณรั่วระหว่างชั้น
(ข) ติดตั้งสลับฟันปลาจะลดการรบกวนระหว่างชั้นได้



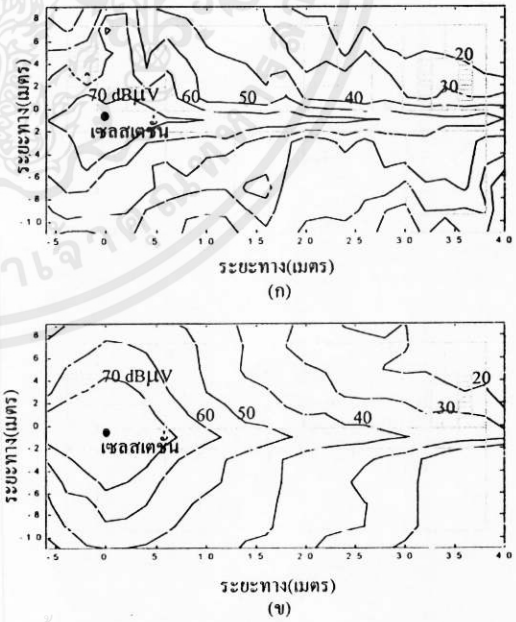
รูปที่ 3 แผนผังของชั้น 2 อาคารโทรคมนาคม KMITL

4.เปรียบเทียบผลการทดลองและผลจากการคำนวณ

ในการวิเคราะห์ระดับสัญญาณที่ทำการวัดทุกจุดของเส้นประที่ตัดกันในรูปที่ 3 จะได้ความแรงของสัญญาณภายในอาคารดังรูปที่ 4 เมื่อนำผลที่ได้มาสร้างเป็น Contour ดังแสดงในรูปที่ 5(ก) ส่วนผลที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้น แสดงผลเป็น Contour ดังรูปที่ 5 (ข) นำมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่า ในแนวช่องทางเดินจะมีระดับสัญญาณที่ยังสามารถใช้งานได้ดีตลอดแนว ส่วนในแนวอื่นมีบางช่วงที่ระดับสัญญาณอ่อนจนไม่สามารถใช้งานได้ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จากการวัดมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะของการเฟดดิ้ง จึงทำให้ต่างจากค่าที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมซึ่งอาจเกิดจากผลของแฟคเตอร์ที่ไม่ได้นำมาคำนวณ เช่น อุปกรณ์สำนักงาน เครื่องมือต่างๆในแต่ละห้องเป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ถ้ามีจำนวนมากๆ ก็จะมีผลต่อระดับสัญญาณทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณมากด้วยเช่นกัน



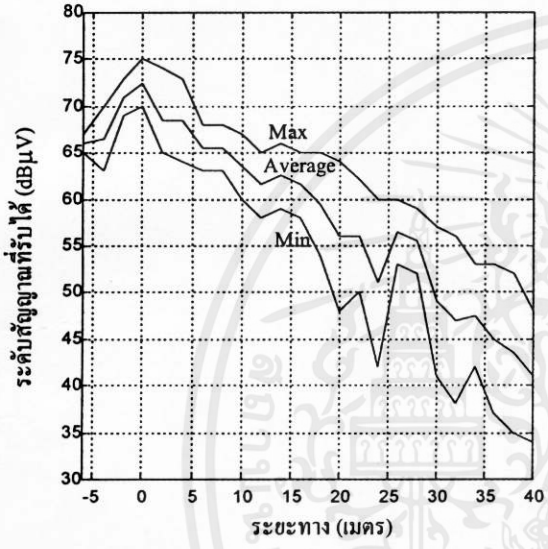
รูปที่ 4 ระดับสัญญาณภายในตึกโทรคมนาคมที่วัดได้



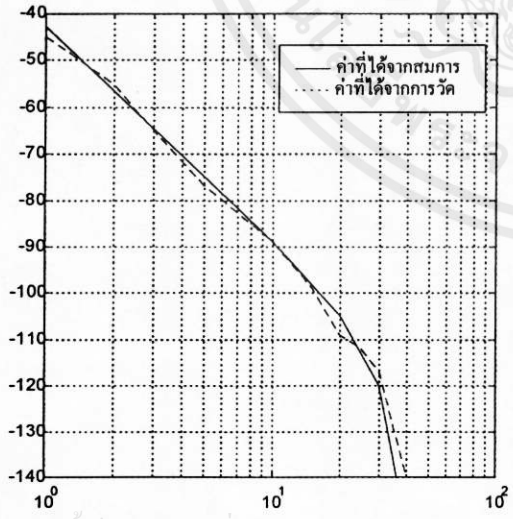
รูปที่ 5 แผนผังระดับสัญญาณบนชั้น 2 ของตึกโทรคมนาคม
(ก) ผลที่ได้จากการวัดระดับสัญญาณ
(ข) ผลที่ได้จากการคำนวณจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับผลของการทดลองวัดค่าระดับของสัญญาณในแนวทางเดินของตึกโทรคมนาคมแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งมีระดับของสัญญาณ 3 ระดับคือ ระดับสัญญาณต่ำสุด สูงสุด และระดับเฉลี่ย ซึ่งค่าของการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงไม่เกิน 18 dBμV อันเป็นผลมาจากการสะท้อนของคลื่นในสภาพสิ่งก่อสร้างรอบๆตัว การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลจากการคำนวณในเส้นทางทแยงมุมของตึกโทรคมนาคมแสดงดังในรูปที่ 7 ซึ่งจะเห็นว่า มีผลแตกต่างกันน้อยมากไม่เกิน 2 dBμV จึงถือได้ว่าสามารถใช้สมการเหล่านี้สำหรับการออกแบบติดตั้งเซลภายในอาคารได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 6 ระดับการลดทอนของสัญญาณในแนวทางเดินของตึกโทรคมนาคมที่ได้จากการทดลอง



รูปที่ 7 ระดับสัญญาณในแนวทแยงมุมตึกโทรคมนาคมเทียบกับกราฟจากการคำนวณตามสมการที่ 3

5.สรุปและวิจารณ์

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและการคำนวณตามสมการการลดทอนของสัญญาณจะเห็นว่ามีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยทั้งทิศทางที่มีสิ่งกีดขวางและไม่มีสิ่งกีดขวาง จึงสรุปได้ว่า ถ้าจะวางเซลในอาคารต่างๆ ในย่าน 1900 MHz นี้ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมากก็คือ ค่าแฟคเตอร์ของการลดทอนคลื่นจากวัสดุต่างๆ จะต้องถูกต้อง ค่าที่ได้จากการคำนวณจึงจะใกล้กับความเป็นจริง และถ้าวัสดุใดไม่สามารถทราบถึงแฟคเตอร์ในการลดทอนของสัญญาณ เราก็สามารถที่จะทดลองโดยการส่งคลื่นจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งแล้ววัดค่าการสูญเสียนั้นว่าเป็นเท่าใดแล้วนำมาใช้เป็นแฟคเตอร์ในการคำนวณ ส่วนกรณีของการแกว่งของสัญญาณที่มีระดับสูงเกินกว่า 20 dB อาจจะต้องพิจารณาเปลี่ยนแปลงสถานที่ติดตั้งเซลสเตชั่นไม่ให้อยู่ใกล้วัสดุที่สะท้อนคลื่นมากนัก อย่างไรก็ตามจากการทดลองในบทความนี้ ค่าการแกว่งของสัญญาณยังไม่เกิน 20 dB ก็ถือว่ายังเป็นระดับที่ไม่ต่ำกว่ามาตรฐานไม่จำเป็นที่จะต้องแก้ไขแต่ประการใด

เอกสารอ้างอิง

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

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

[3] M. HATA, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Service", IEEE Trans. On Veh. Techn., Vol. VT-29, August 1990

[4] C. Tornevik, J.E. Berg,F. Lotse and M. Madfors, "Propagation Cell Planing and Channel Allocation for Indoor Applications of Cellular System", IEEE Trans. on Veh. Techn., Vol.48, May 1993, pp.867-870.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ถาวร ตันหยงมาศกุล
วัน เดือน ปี เกิด	19 เมษายน 2515
สถานที่เกิด	จังหวัด ประจวบคีรีขันธ์
อายุ	27 ปี
ที่ปัจจุบัน	60-62 หมู่ 8 ต.ห้วยทราย อ.เมือง จ. ประจวบฯ 77000
การศึกษา	จบการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขา ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ.2538 เข้าศึกษาต่อในปริญญาโท หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรม ศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการ ศึกษา 2539

ประสบการณ์การทำงาน

เป็นผู้ช่วยวิจัยโครงการวิจัยเรื่อง " เครื่องโปรโตคอลเครื่องโทรสารกับระบบโครงข่าย บริการร่วมแบบดิจิตอล " ในปี 2539

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1. ถาวร ตันหยงมาศกุล ถวิล พึ่งมา ประกิจ ดังติสานนท์ Y.Moriya " การรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่ ย่าน Ku และ C แบนด์", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ,20-21 พฤศจิกายน 2538,หน้าที่ 280-284
2. ถาวร ตันหยงมาศกุล เอกพันธุ์ พุทธวงศ์ ถวิล พึ่งมา และ มนูญ สุขเกษม "การออกแบบการวางตำแหน่งเซลสเตชั่นในอาคารของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT ", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 21 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี , 12-13 พฤศจิกายน 2541 ,หน้าที่ 238-241

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้