สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที

THE COMPUTATION OF CELL COVERAGE REGIONS FOR PCT (PERSONAL COMMUNICATION TELEPHONE) WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM

ณัฏฐ์กมล นาเมือง

NUTKAMON NAMUANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2542

ISBN 974-622-463-8

เลขหมู่
เลขทะเบียน 33366
วัน, เดือน, ปี - 2 ส.ค. 2542

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE COMPUTATION OF CELL COVERAGE REGIONS FOR PCT (PERSONAL COMMUNICATION TELEPHONE) WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM

NUTKAMON NAMUANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICTAL ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1999

ISBN 974-622-463-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 1999

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที
นักศึกษา	นางสาวณัฏฐ์กมล นาเมือง
รหัสประจำตัว	39061050
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2542
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ถวิล พึ่งมา

บทคัดย่อ

การคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซล ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที (PCT : Personal Communication Telephone) นั้น จะต้องระมัดระวังปัญหาต่างๆ เช่น จะต้องพยายามไม่ให้เกิดจุดบอดของสัญญาณ หรือเกิดการเหลื่อมล้ำของเซลมากเกินไป ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองเซล และยังอาจจะทำให้เกิดการรบกวนทางความถี่ ที่เรียกว่า โคแชนแนลอินเตอร์เฟอร์เร้นท์ (Co-channel Interference) ได้

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้กล่าวถึงวิธีการออกแบบเซลไซท์ของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที ที่คลื่นความถี่ย่าน 1,900 MHz โดยการใช้โปรแกรมการคำนวณที่มีตัวแปรเป็นฟังก์ชั่นของความถี่ ซึ่งได้แก่ กำลังการส่งและรับ ปริมาณทราฟฟิคการใช้โทรศัพท์ ผลกระทบจากสภาพแวดล้อมรอบๆเซล เป็นต้น ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมที่ได้ออกแบบ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการวัดจริงจะใกล้เคียงกันมาก ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่า สามารถใช้โปรแกรมที่ได้ออกแบบนี้สำหรับการออกแบบระบบสื่อสารไร้สายระบบอื่นๆที่มีโครงสร้างพื้นฐานของระบบคล้ายคลึงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	The computation of cell coverage regions for PCT (Personal Communication Telephone) wireless communication system
Student	Miss. Nutkamon Namuang
Student ID.	39061050
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	1999
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Tawil Paungma

ABSTRACT

The computation of cell coverage regions for PCT (Personal Communication Telephone) wireless communication system should be careful in the various problems such as, to decrease the occurring hole or overlap, which is minimized cell and may will have the co-channel interference.

This thesis presents a design procedures of cell site for PCT in the 1,900 MHz frequency band by using computer program. The parameters of program are the transmitter and receiver, power of cell, the traffic communication, the surrounding environment condition effects and etc., which are in the function of frequency. The comparison between computational and measured results is very relative high. Thus, it is verified that this designed program work properly and can apply to the other wireless communication systems.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและช่วยเหลือจาก รศ.ดร. ถวิล พึ่งมา และศ. มนูญ สุขเกษม ตลอดมา ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างสูง ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้โอกาสและสนับสนุนข้าพเจ้าให้ได้เล่าเรียนมาจนถึงระดับปริญญามหาบัณฑิต

ขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ได้มอบทุนช่วยเหลือในโครงการกลุ่มศึกษาวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา สาขาโทรคมนาคม ในขณะกำลังศึกษาอยู่เป็นเวลาหนึ่งปี ขอบพระคุณคณะบัณฑิตศึกษา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้มอบทุนสนับสนุนการวิจัยวิทยานิพนธ์ให้แก่ข้าพเจ้า จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลงด้วยดี

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ทุกคนในห้อง T-201 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งช่วยตรวจเทียบและแก้ไขทฤษฎีรวมทั้งข้อผิดพลาดอื่นๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ความรู้และประโยชน์ใดๆที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบความดีที่ได้ให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณัฏฐ์กมล นาเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... II

กิตติกรรมประกาศ..... III

สารบัญ..... IV

สารบัญตาราง..... VII

สารบัญรูป..... VIII

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 2

1.3 ทำไมปัญหานี้จึงน่าสนใจ..... 3

1.4 หลักการใหม่ที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับหลักการเดิม..... 3

1.5 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์..... 4

บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นของระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล..... 5

2.1 บทนำ..... 5

2.2 วิวัฒนาการของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย..... 7

2.2.1 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก..... 8

2.2.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอล..... 9

2.2.2.1 ระบบ CT2..... 9

2.2.2.2 ระบบ DECT..... 11

2.2.2.3 ระบบ PACS..... 14

2.2.2.4 ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส..... 16

2.2.2.5 การเปรียบเทียบระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลดิจิตอล..... 29

บทที่ 3 ระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที..... 32

3.1 บทนำ..... 32

3.2 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที..... 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ
(PSTN : Public Switched Telephone Network)..... 33
3.2.2 โครงข่ายอัจฉริยะ (IN : Intelligent Network)..... 34
3.2.2.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายอัจฉริยะ..... 35
3.2.2.2 โปรโตคอลที่ใช้ในโครงข่ายอัจฉริยะ..... 36
3.2.3 โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส..... 38
3.2.3.1 PCT server..... 39
3.2.3.2 ชุมสายย่อยระยะไกล
(RDLU : Remote Digital Line Unit)..... 43
3.2.3.3 รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง
(HLR : Home Location Register)..... 44
3.2.3.4 ระบบบันทึกรายละเอียดของการเรียก
(CDR : Call Detail Recording System)..... 44
3.2.3.5 ระบบการจัดการโครงข่าย
(NMS : Network Management System)..... 44
3.2.3.6 เซลสเตชั่น (CS : Cell Station)..... 45
3.2.3.7 เครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที
(PS : Personal Station)..... 47
3.3 มาตรฐานของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที..... 48
3.4 การแฮนด์โอเวอร์..... 49
3.5 โปรโตคอลที่ใช้ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที..... 52
3.6 ลำดับการเรียกของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที..... 53
3.6.1 ลำดับในการเรียกเข้ามายังโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที..... 53
3.6.2 ลำดับในการเรียกออกจากโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที..... 56

บทที่ 4 วิธีการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสาร
แบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที..... 60
4.1 บทนำ..... 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
4.2	หลักการแพร่กระจายคลื่น	60
4.3	กลไกการแพร่กระจายคลื่นพื้นฐาน (Basic propagation Mechanisms)	63
4.3.1	การสะท้อนของคลื่น (Reflection)	63
4.3.2	การหักเหของคลื่น (Diffraction)	67
4.3.3	การกระเจิงของคลื่น (Scattering)	70
4.4	วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ	70
4.4.1	วิธีการของ Hata สำหรับเซลขนาดเล็ก	71
4.4.2	วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami	72
4.4.3	วิธีการของ C.Y. Lee	73
4.4.4	วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณโดยใช้หลักการ Ray tracing หลักการอิมเมจ และหลักการ UTD	74
บทที่ 5	พื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีทีที	80
5.1	วิธีการที่ใช้ในหาค่าการลดทอนของสัญญาณ	80
5.2	ผลของการคำนวณโดยโปรแกรม	81
5.3	ผลของการทดลองในพื้นที่จริง	86
5.4	การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณและผลการทดลอง	89
บทที่ 6	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	92
บรรณานุกรม		93
ภาคผนวก ก		96
ภาคผนวก ข		107
ประวัติผู้เขียน		115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	มาตรฐานของระบบ CT2	11
2.2	มาตรฐานของระบบ DECT	13
2.3	มาตรฐานของระบบ PACS	14
2.4	มาตรฐานของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส	28
2.5	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล	31
3.1	ความถี่ที่ใช้สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	48
3.2	มาตรฐานของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	49
4.1	ความชันของสมการการลดทอนสำหรับสภาพแวดล้อมในพื้นที่ต่างๆ.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของระบบ DECT	13
2.2	โครงสร้างของระบบ PACS	15
2.3	แนวความคิดในการให้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส	19
2.4	การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะโทรศัพท์อยู่กับที่	19
2.5	การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะโทรศัพท์ไร้สายภายในบ้าน.....	20
2.6	การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสร่วมกับชุมสายปลายทางอัตโนมัติ	20
2.7	การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะการสื่อสารเคลื่อนที่	21
2.8	ตัวอย่างการใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส	22
2.9	สถาปัตยกรรมของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส	22
2.10	การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสกับโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิตอล	23
2.11	โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสสาธารณะ	24
2.12	โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสอิสระ	25
2.13	การใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะ WLL	26
2.14	การใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะ WLL	26
2.15	การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสภายในอาคาร	29
3.1	โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	33
3.2	โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ	34
3.3	การเปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะธรรมดากับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่ทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะ	35
3.4	สถาปัตยกรรมของโครงข่ายอัจฉริยะ	36
3.5	ลักษณะทางฮาร์ดแวร์ของโครงข่ายอัจฉริยะ	37
3.6	โปรโตคอลที่ใช้ระหว่างจุดชุมสายบริการและจุดควบคุมการบริการ	37
3.7	โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส	38
3.8	ลักษณะเฟรมของโปรโตคอลที่ใช้ระหว่างจุดชุมสายบริการและจุดบริการ	39
3.9	ขั้นตอนการเรียกจากเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.10	ขั้นตอนการเรียกจากเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะไปยังโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	41
3.11	กระบวนการตรวจสอบความถูกต้องของผู้ใช้บริการ	41
3.12	ขั้นตอนการระบุตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	42
3.13	ลำดับขั้นตอนการแฮนด์โอเวอร์	42
3.14	ตำแหน่งและการต่อชุมสายย่อยระยะไกล	43
3.15	ลักษณะของเซลสเตชั่นที่ใช้ในประเทศไทย	45
3.16	สายอากาศของเซลสเตชั่นที่มีค่าเกนขนาด 2 dBi ขนาด 4 dBi ขนาด 7 dBi และขนาด 9 dBi	46
3.17	การแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศที่มีค่าเกนขนาด 2 dBi ขนาด 4 dBi ขนาด 7 dBi และขนาด 9 dBi	46
3.18	ตัวอย่างของเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	48
3.19	การแฮนด์โอเวอร์ในอุดมคติ	50
3.20	การแฮนด์โอเวอร์ในกรณีที่มีการกำหนดระดับสัญญาณในการแฮนด์โอเวอร์เอาท์ต่ำ	51
3.21	การแฮนด์โอเวอร์ในกรณีที่มีการกำหนดระดับสัญญาณในการแฮนด์โอเวอร์เอาท์สูง	51
3.22	โปรโตคอลที่ใช้ระหว่างจุดชุมสายบริการและจุดควบคุมการบริการ	52
3.23	ลำดับการเรียกเข้าจากเครื่องโทรศัพท์ธรรมดาไปยังเครื่องโทรศัพท์ลูกข่าย	53
3.24	ลำดับการเรียกเข้าจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังเครื่องโทรศัพท์ลูกข่าย	55
3.25	ลำดับการเรียกเข้าจากเครื่องโทรศัพท์ลูกข่ายไปยังโทรศัพท์ลูกข่ายด้วยกัน	56
3.26	ลำดับการเรียกออกจากเครื่องโทรศัพท์ลูกข่ายไปยังโทรศัพท์ธรรมดา	57
3.27	ลำดับการเรียกออกจากเครื่องโทรศัพท์ลูกข่ายไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่	58
4.1	การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิค	62
4.2	การสะท้อนของคลื่น	64
4.3	คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก	66
4.4	หลักการของ Huygen	67
4.5	การหักเหของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen.....	69
4.7	เส้นทางการเดินทางของคลื่น	75
5.1	หน้าต่างและเมนูบาร์ของโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบ	81
5.2	ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม	82
5.3	ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม (ต่อ)	83
5.4	ค่าการลดทอนของสัญญาณในถนนหลัก	84
5.5	ค่าการลดทอนของสัญญาณในถนนที่ทำมุมฉากกับถนนหลัก	85
5.6	ค่าการลดทอนของสัญญาณในถนนที่ขนานกับถนนหลัก	86
5.7	ความแรงของสัญญาณสำหรับเส้นทางในสภาวะการมองเห็นในระดับสายตา	87
5.8	ความแรงของสัญญาณสำหรับเส้นทางในสภาวะที่มีสิ่งกีดขวาง	87
5.9	คุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของเซลสเตชั่นขนาด 200 mW	88
5.10	ระดับความแรงของสัญญาณในพื้นที่เขตชานเมืองบริเวณถนนรัชดาภิเษก	88
5.11	ระดับความแรงของสัญญาณในพื้นที่เขตนอกเมืองบริเวณถนนบางนา-ตราด	89
5.12	ระดับความแรงของสัญญาณในพื้นที่ในตัวเมืองบริเวณถนนสีลม	89
5.13	ค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าการลดทอนที่ได้จากการวัดจริงในถนนหลัก	90
5.14	ค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าการลดทอนที่ได้จากการวัดจริงในถนนรองที่ทำมุมฉากกับถนนหลัก	90
5.15	ค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าการลดทอนที่ได้จากการวัดจริงในถนนรองที่ขนานกับถนนหลัก	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ประเทศไทยได้มีการนำเทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส (PHS : Personal Handy phone System) จากประเทศญี่ปุ่นเข้ามาทำการประยุกต์และปรับปรุง โดยให้มีการทำงานร่วมกับโครงข่าย 2 โครงข่าย คือ โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN : Public Switched Telephone Network) ซึ่งเป็นโครงข่ายเดิมที่มีอยู่ และโครงข่ายอัจฉริยะ (IN : Intelligent Network) เพื่อให้บริการหมายเลขเดียว (One Number Service) และใช้ชื่อว่าโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (PCT : Personal Communication Telephone) ในการวางโครงข่ายของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะมีการติดตั้งเซลสเตชั่นตามเสาไฟฟ้าข้างถนนและวางต่อเนื่องกัน เพื่อให้พื้นที่ครอบคลุมของเซลแต่ละเซลมีการเหลื่อมล้ำกันในลักษณะลูกโซ่ จึงสามารถสื่อสารข้ามเซลได้ อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณทราฟฟิคและจำนวนครั้งของการข้ามเซลลง เนื่องจากเมื่อเซลใดเซลหนึ่งมีช่องสัญญาณเต็มก็สามารถใช้ช่องสัญญาณของเซลข้างเคียงได้ สำหรับการเลือกตำแหน่งของเซลสเตชั่นนั้น จะพิจารณาจากพื้นที่ครอบคลุมของเซลแต่ละเซล โดยพบว่าระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะมีรัศมีของพื้นที่ครอบคลุมเซลหรือพื้นที่ให้บริการในระยะ 300-600 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมรอบๆตัวเซลสเตชั่น ในการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลจะสามารถหาได้โดยใช้วิธีการคาดคะเนการลดทอนของสัญญาณ ซึ่งวิธีการคาดคะเนการลดทอนของสัญญาณที่ใช้นิยมใช้อย่างแพร่หลาย คือวิธีการของ Hata วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami วิธีการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด และวิธีการคาดคะเนการลดทอนของสัญญาณโดยอาศัยสมการเส้นตรงของฟังก์ชั่นล็อกการิทึม แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการดังที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดก็ยังคงมีข้อจำกัดของการใช้อยู่ ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

จากเหตุผลดังที่ได้กล่าวมา ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงเสนอการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที โดยอาศัยกลไกพื้นฐานของคลื่น 3 ประการ อันได้แก่ การสะท้อนของคลื่น การหักเหของคลื่น และการกระเจิงของคลื่น ใช้หลักการของ Ray Tracing (หรือ Ray Launching Method) สำหรับการสมมติลำดับเส้นทางการเดินทางของคลื่นหรือรัศมี (Ray) ที่แพร่กระจายออกไปในทุกๆทิศทางที่จะเป็นไปได้ในรูปแบบของจำนวนเชิงซ้อน โดยเป็นการนับจำนวนครั้งของการสะท้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากผนัง หรือพื้นถนน จำนวนครั้งของการหักเหที่เกิดขึ้นจากผนัง ถนนหรือบริเวณมุมตึกใช้หลักการอิมเมจ (Image Method) สำหรับหาตำแหน่งที่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสะท้อนและหักเห และใช้หลักการ UTD (Uniform Theory of Diffraction) ในการคำนวณหาค่าผลรวมของระดับความแรงของสัญญาณที่จุดต่างๆ แบบเวคเตอร์ (คิดทั้งขนาดและเฟส)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที สามารถหากระทำได้โดยพิจารณาจากระดับความแรงของสัญญาณ ใช้รูปแบบการคาดคะเนพื้นที่ครอบคลุมของเซล โดยให้มีจำนวนของเซลสเตชั่นน้อยที่สุด เนื่องจากการครอบคลุมของเซลไม่สามารถทำได้ 100% ของพื้นที่ ดังนั้นการเลือกตำแหน่งและการติดตั้งเซลสเตชั่นจึงต้องเลือกให้ช่องว่างของเซลไปอยู่ในตำแหน่งที่มีปริมาณการใช้บริการน้อย ซึ่งในการคำนวณหาขนาดของพื้นที่ครอบคลุม จะใช้วิธีการคาดคะเน (Prediction model) โดยวิธีการที่นิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน อันได้แก่ วิธีการของ Hata วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami วิธีการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด และวิธีการคาดคะเนการลดทอนของสัญญาณโดยอาศัยสมการเส้นตรงของฟังก์ชั่นล็อกการิทึ่ม ยังมีข้อจำกัดในการใช้อยู่ เช่น วิธีการของ Hata สามารถใช้ได้เฉพาะในบริเวณพื้นที่ราบเรียบและไม่นำการลดทอนที่เกิดจากสิ่งกีดขวางมาคิด วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami ไม่สามารถนำมาคิดค่าการลดทอนของสัญญาณได้ในระยะทางที่มีค่าน้อยกว่า 20 เมตรและจากผลการทดลองพบว่าค่าคลาดเคลื่อนระหว่างวิธีการคาดคะเนและผลที่เกิดขึ้นจริงจะมีค่าน้อยมาก ในกรณีที่มีความสูงของเซลสเตชั่นมีค่ามากกว่าความสูงของสิ่งกีดขวาง ดังนั้นวิธีการนี้ จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีซึ่งมีความสูงของเซลสเตชั่นต่ำกว่าระดับความสูงของสิ่งกีดขวาง เช่น ตึก อาคารสิ่งก่อสร้าง และต้นไม้ เป็นต้น ส่วนวิธีการของคาดคะเนแบบจุดต่อจุดและวิธีการคาดคะเนโดยอาศัยสมการเส้นตรงของฟังก์ชั่นล็อกการิทึ่มเป็นการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งจะต้องทำการวัดระดับของสัญญาณในสภาพแวดล้อมต่างๆแล้วนำมาพล็อตกราฟระหว่างระดับของสัญญาณในหน่วยเดซิเบลกับระยะทางในหน่วยเมตร จากนั้นจึงใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์หาค่าสมการการลดทอนของสัญญาณจะเห็นว่าทั้งสองวิธีเป็นการสิ้นเปลืองแรงงานและเวลาในการวิเคราะห์สำหรับทุกๆพื้นที่ ณ ทุกๆทิศทางภายในพื้นที่บริการ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกวิธีการหาการลดทอนของสัญญาณ โดยอาศัยพื้นฐานของหลักการ Ray Tracing (หรือ Ray Launching Method) สำหรับการทำนายเส้นทางการเดินทางของรัศมี (Ray) ที่แพร่กระจายไปทุกๆทิศทางรอบๆแหล่งกำเนิด รวมทั้งรัศมีที่เกิดขึ้น เนื่องจากการสะท้อนและการหักเห อันเนื่องมาจากพื้นผนัง พื้นผิวของถนน บริเวณมุมตึก และเนื่องจากระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที มีการติดตั้งเซลสเตชั่นในระดับที่ต่ำกว่าความสูงของหลังคา ดังนั้นการรวมรัศมีจะไม่นับรวมถึงรัศมีของคลื่นที่มีการหักเหบริเวณหลังคา เมื่อได้เส้นทางการเดินทางของคลื่นแล้ว จะใช้หลักการอิมเมจ (Image Method) ในการหาตำแหน่งจุดที่เกิดการสะท้อนและหักเห ส่วนหลักการ UTD (Uniform Theory of Diffraction) จะใช้คำนวณค่าระดับความแรงของสัญญาณที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องโทรศัพท์รับได้ โดยในส่วนแรกของตัวโปรแกรมจะทำออกแบบลักษณะของสภาพแวดล้อม เช่น ขนาดของตึก ความสูงของตึก ความกว้างของถนนและแสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งประกอบไปด้วยคุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าของผนังตึกและพื้นถนน (ค่าเพอมิตติวิตี้และค่าการนำไฟฟ้า) ตำแหน่งของเซลสเตชั่น ตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์ ความสูงของเซลสเตชั่นและตัวเครื่องโทรศัพท์ และความถี่ในการใช้งาน จากนั้นจึงทำการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที โดยค่าของระดับความแรงของสัญญาณที่เครื่องลูกข่ายรับได้จะเป็นผลรวมแบบเวกเตอร์ของคลื่น (รัศมี หรือ Ray) ในทิศทางต่างๆ

1.3 ทำไมปัญหานี้ถึงน่าสนใจ

ในการออกแบบโครงข่ายของระบบสื่อสารคลื่นวิทยุทุกๆระบบ สิ่งแรกที่จะต้องคำนึงถึงคือ การเลือกตำแหน่งในการติดตั้งสายอากาศส่งที่เหมาะสม เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการให้บริการที่สูง สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีที่ใช้งานอยู่ในประเทศไทยจะใช้เซลสเตชั่นขนาด 200 mW ติดตั้งตามเสาไฟฟ้าข้างถนน โดยจะมุ่งให้บริการในบริเวณถนนหลักสายต่างๆ และใช้เซลสเตชั่นขนาด 20 mW ในการติดตั้งในซอยหรือถนนแคบๆ เนื่องจากระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีใช้เทคนิคของเซลขนาดเล็ก ดังนั้นการแพร่กระจายคลื่นจึงมีจำกัดในระยะทางเพียงไม่กี่ร้อยเมตรเท่านั้น ในการคำนวณหาพื้นที่ครอบคลุมของเซลที่ผิดพลาดจะทำให้คุณภาพของระบบเสียไป คือ ในกรณีที่มีการติดตั้งเซลสเตชั่นห่างกันเกินไปก็จะทำให้เกิดจุดบอดของสัญญาณหรือบริเวณที่ทำให้เกิดการขาดหายของสัญญาณ หรือในกรณีที่ติดตั้งเซลสเตชั่นใกล้กันมากเกินไปจะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการลงทุน อีกทั้งยังอาจก่อให้เกิดปัญหาการอินเตอร์เฟอร์เร้นท์อีกด้วย การคำนวณหาพื้นที่ครอบคลุมของเซลจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาถึงลักษณะการแพร่กระจายคลื่น และการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งวิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณสามารถหาได้หลายๆวิธี แต่การเลือกวิธีที่เหมาะสมจะทำให้การวางโครงข่ายมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

1.4 หลักการใหม่ที่นำเสนอเมื่อเทียบกับหลักการเดิม

การหาพื้นที่ครอบคลุมของเซลจะใช้วิธีการคาดคะเน (Prediction model) จากระดับความแรงของสัญญาณ ซึ่งวิธีการคาดคะเนที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ก็คือ วิธีการของ Hata วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami และวิธีการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด เป็นต้น แต่เนื่องจากในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลมีการติดตั้งเซลสเตชั่นในระดับที่ต่ำกว่าความสูงของตึก ดังนั้น การลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นระหว่างเซลสเตชั่นกับตัวเครื่องโทรศัพท์ส่วนใหญ่แล้วเป็นการลดทอนอันเนื่องมาจากการสะท้อนและการหักเหของคลื่นที่ผนังตึก พื้นผิวถนน หรือบริเวณมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตึกมากกว่าการลดทอนที่เกิดจากการหักเหที่หลังคาตึก ในวิทยานิพนธ์นี้ จึงเสนอวิธีการหาค่าการลดท่อนของสัญญาณโดยการใช้หลักการ Ray tracing (หรือการติดตามคลื่น) หลักการอิมเมจและหลักการ UTD ซึ่งเป็นหลักการที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนและการหักเหของคลื่น ในการออกแบบโปรแกรมจะทำการออกแบบแผนที่จำลองแบบคร่าวๆแล้วจึงใช้หลักการอิมเมจแสดงลำดับของเส้นทางในการเดินทางของคลื่นบนแผนที่ ซึ่งเส้นทางดังกล่าวจะประกอบไปด้วยการสะท้อนและการหักเหที่เกิดขึ้นระหว่างเซลสเตชั่นและตัวเครื่องโทรศัพท์ โดยผลรวมของความแรงของสัญญาณที่ตำแหน่งใดๆจะหาได้จากสูตรของ UTD ดังจะแสดงไว้ในบทที่ 4

1.5 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนปัญหาที่น่าสนใจของวิทยานิพนธ์ โดยเปรียบเทียบหลักการใหม่กับหลักการเดิม

บทที่ 2 กล่าวถึงวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (PCS : Personal Communication System) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันโดยมีพัฒนาการจากระบบอนาล็อกเข้าสู่ระบบดิจิตอล เนื้อหาส่วนใหญ่ในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการการทำงานและมาตรฐานของระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลที่เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย อันได้แก่ ระบบโทรศัพท์ไร้สาย CT-2 (Cordless Telephone Generation 2) ระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล DECT (DECT : Digital European Cordless Telephone) ระบบ PACS (PACS : Personal Advanced Cordless System) และระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส (PHS : Personal Handy-phone System) รวมทั้งตารางแสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานของทั้ง 4 ระบบ

บทที่ 3 กล่าวถึงโครงสร้าง มาตรฐานและหลักการทำงานของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (PCT : Personal Communication Telephone)

บทที่ 4 กล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นในการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที

บทที่ 5 กล่าวถึงการออกแบบโปรแกรมในการหาการลดทอนของสัญญาณและการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลของงานวิจัย ข้อเสนอแนะต่างๆ รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบโปรแกรมการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความรู้เบื้องต้นของระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล

2.1 บทนำ

ปัจจุบันการสื่อสารแบบไร้สายได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ดังจะเห็นได้จากมีการให้บริการรูปแบบใหม่ๆเกิดขึ้นตลอดเวลา เช่น การให้บริการโทรศัพท์แบบดิจิตอล การให้บริการข้อมูลข่าวสารรูปแบบต่างๆ การให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูล่าร์ หรือการให้บริการภาพ ซึ่งการพัฒนาของเทคโนโลยีใหม่ดังกล่าวนี้ พอจะจำแนกได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ ส่วนของการพัฒนาระบบโครงข่าย ส่วนที่สอง คือ การพัฒนาในส่วนของเครื่องให้บริการ ในส่วนของการพัฒนาระบบโครงข่ายการสื่อสารแบบไร้สายนั้น จะมีพัฒนาการเป็นลำดับขั้นจากระบบอนาล็อกสู่ระบบดิจิตอล ซึ่งการพัฒนาระบบการแพร่กระจายคลื่นวิทยุในระยะแรก จะสร้างโครงข่ายเป็นเซลขนาดใหญ่ ซึ่งอาจมีรัศมีถึง 50 กิโลเมตร จึงก่อให้เกิดปัญหาอยู่ 2 ประการ คือ ประการแรก สัญญาณวิทยุที่อยู่ใกล้และไกลจากสถานีฐานมีความแรงของสัญญาณไม่เท่ากัน ทำให้การควบคุมระดับสัญญาณเป็นไปด้วยความยากลำบาก ประการที่สอง ต้องใช้กำลังส่งสูง ทำให้เครื่องให้บริการมีขนาดใหญ่ ไม่เหมาะสมต่อการพกพาติดตัวไปยังสถานที่ต่างๆ ต่อมาจึงได้พัฒนาเข้าสู่ระบบเซลลูล่าร์ โดยใช้เซลขนาดเล็กลงในรัศมีประมาณ 10-20 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังใช้เทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ในเซลที่อยู่ไกลออกไป เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนของสัญญาณระหว่างเซลข้างเคียงขึ้น ทำให้การควบคุมสัญญาณดีขึ้น จากนั้นก็ได้ทำการพัฒนาระบบแยก หรือการแบ่งเซลออกเป็นหลายๆส่วน เพื่อลดขนาดของเซลลง จึงทำให้หนึ่งสถานีฐานดูแลเครื่องลูกข่ายลดลง แต่อย่างไรก็ตามในหนึ่งสถานีฐานจะต้องดูแลเครื่องลูกข่ายจำนวนหลายร้อยเครื่องหรืออาจเป็นพันๆเครื่อง เมื่อมีผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการขยายขอบเขตการให้บริการ โดยทำการติดตั้งสถานีฐานเพิ่ม ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาการขาดหายไปของสัญญาณ (Muting) หรือการเกิดการรบกวนทางความถี่ของช่องสัญญาณข้างเคียงที่ใช้ความถี่เดียวกัน (Co-channel interference) อันเกิดขึ้นเนื่องจากมีการติดตั้งสถานีฐานด้วยระยะห่างที่มากหรือน้อยเกินไปตามลำดับ นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มักจะเกิดขึ้นก็คือ ปัญหาการโทรไม่ติดทั้งๆที่มีการใช้งานในพื้นที่การให้บริการ อันเนื่องมาจากระดับของสัญญาณที่ได้รับมีความแรงไม่เพียงพอต่อการติดต่อ โดยผู้ใช้บริการสามารถสังเกตุได้จากระดับของสัญญาณจากเครื่องให้บริการ โดยปกติแล้วลักษณะพื้นที่ในเขตตัวเมืองจะเป็นที่ราบ แต่บางพื้นที่จะมีลักษณะไม่ราบเรียบ อาจจะทำให้เกิดการกีดขวางเส้นทางการเดินของคลื่น ซึ่งจะแตกต่างจากการกีดขวางอันเนื่องมาจากสิ่งก่อสร้างที่คลื่นสามารถสะท้อนจากตัวอาคารมายังเครื่องรับได้ ทำให้เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ที่เรียกว่า โฮล (Hole) หรือจุดบอดของสัญญาณขึ้น วิธีการแก้ไขก็คือ การเปลี่ยนแปลงความสูงของสายอากาศส่ง เพื่อให้เส้นทางการเดินทางของคลื่นพ้นสิ่งกีดขวาง แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้นก็คือทำให้ขอบเขตของเซลครอบคลุมพื้นที่กว้างขึ้นและเหลื่อมล้ำเข้าไปในเซลข้างเคียง ทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอร์เร้นท์ขึ้น ซึ่งวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จะต้องใช้ต้นทุนสูง ดังนั้นวิศวกรจึงได้ทำการพัฒนาระบบโครงข่ายใหม่ที่ใช้เทคนิคของเซลขนาดเล็ก เช่น ไมโครเซล หรือนาโนเซล เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่บริการได้มากขึ้นและลดปัญหาอันเนื่องมาจากการเกิดอินเตอร์เฟอร์เร้นท์ ซึ่งอาจจะถือได้ว่าเป็นวิธีการเดียวที่สามารถแก้ปัญหาการเกิดจุดบอดของสัญญาณได้

ในส่วนของเครื่องให้บริการ ก็มีการพัฒนาจากเครื่องให้บริการที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากติดตั้งกับรถยนต์ ซึ่งเป็นระบบอนาล็อก ก็พัฒนามาสู่เครื่องให้บริการชนิดหิ้วถือ และเครื่องให้บริการในระบบดิจิตอล เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูล่าร์ โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส โดยตัวเครื่องจะมีขนาดเล็กลงสามารถพกพาได้อย่างสะดวกสบาย อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถใช้งานได้ในความถี่สูงๆ อีกทั้งยังมีการพัฒนาในด้านโครงข่ายต่างๆเช่น โครงข่ายการให้บริการร่วมระบบดิจิตอล โครงข่ายของระบบควบคุม SS#7 หรือโครงข่ายที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์อันชาญฉลาด หรือที่เรียกกันว่า โครงข่ายอัจฉริยะ ซึ่งการพัฒนาโครงข่ายทั้งหมดดังที่ได้กล่าวมาจะนำไปสู่ระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล โดยเครื่องให้บริการจะมีขนาดเล็ก กระทัดรัด น้ำหนักเบา สะดวกในการพกพาไปยังที่ต่างๆ ราคาถูกเมื่อเทียบกับโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ มีกำลังส่งต่ำ ทำให้ประหยัดพลังงานและมีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่นานต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง โดยระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล (PCS : Personal Communication System) ที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ ระบบ PACS (Personal Access Communication System) ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone) และระบบ PHS (Personal Handy-phone System)

สำหรับการพัฒนาระบบการสื่อสารแบบไร้สายในประเทศไทย ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสมาใช้ และทำการปรับปรุง โดยเพิ่มเติมส่วนของโครงข่ายอัจฉริยะ เพื่อสามารถให้บริการในลักษณะบริการเสริมของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ โดยมีเลขหมายเดียวกับโทรศัพท์บ้าน และเรียกการสื่อสารแบบไร้สายในระบบนี้ว่า ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (PCT : Personal Communication Telephone) โดยองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยได้อนุมัติให้บริษัทเทเลคอมเอเชีย คอร์ปอร์เรชั่น จำกัด (TA) เป็นผู้ดำเนินการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล ส่วนบริษัทไทยเทเลโฟนแอนด์เทเลกราฟ (TT&T) เป็นผู้ดำเนินการให้บริการในเขตต่างจังหวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วิวัฒนาการของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย

ตั้งแต่ก่อนปีค.ศ. 1990 การสื่อสารแบบไร้สายได้มีพัฒนาการอย่างรวดเร็ว โดยมีการพัฒนาจากระบบอนาล็อกสู่ระบบดิจิตอล จากการให้บริการเสียงสู่การให้บริการแบบหลายสื่อ หรือที่เรียกว่า "การให้บริการมัลติมีเดีย" โดยวิวัฒนาการเหล่านี้เป็นจุดเริ่มต้นที่จะนำไปสู่เทคโนโลยีของการสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งเป็นระบบที่มีการพัฒนาขึ้นมาอย่างรวดเร็วควบคู่ไปกับการพัฒนาโครงข่ายคอมพิวเตอร์หรือระบบอินเตอร์เน็ต ที่มีความสามารถในการส่งสัญญาณข้อมูลด้วยความเร็วที่เทียบเท่าระบบการส่งสัญญาณแบบใช้สาย โดยมีการพัฒนาการส่งสัญญาณเสียงด้วยอัตราเร็ว 1 ถึง 2 Mbps สำหรับการบริการมัลติมีเดีย รวมทั้งการส่งสัญญาณวิดีโอ ซึ่งจะต้องใช้งานแถบความถี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่จะสามารถทำได้ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ (GSM : Global System for Mobile) และระบบโทรศัพท์ดิจิตอลส่วนบุคคล (PDC : Personal Digital Cellular) เพื่อใช้ในการสื่อสารในการบริการร่วมแบบใช้เสียง หรือไม่ใช้เสียงก็ตาม แต่อัตราในการส่งสัญญาณยังคงจำกัดอยู่ที่ 10 kbps ซึ่งเป็นอัตราการส่งสัญญาณที่ต่ำเกินไปสำหรับการให้บริการมัลติมีเดีย ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเข้าสู่ระบบการสื่อสารแบบไร้สายในยุคที่สามโดย ITU-R (International Telecommunication Union Radio Section) อันเป็นการเปลี่ยนแปลงระบบการสื่อสารจากระบบเดิมที่มีอยู่ อันได้แก่ ระบบดิจิตอลเซลลูล่าร์หรือระบบไร้สายดิจิตอลเข้าสู่ระบบการสื่อสารในยุคที่สาม โดยได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการสื่อสารจากวิธีการมอดูเลทแบบแบ่งความถี่ (TDMA : Time Division Multiple Access) และวิธีการมอดูเลทการแบ่งรหัส (CDMA : Code Division Multiple Access) นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาเทคนิคของการเข้าและถอดรหัส (Modulation/Demodulation) ระบบของการซิงค์โครไนซ์ (Synchronization) รวมทั้งคุณลักษณะพิเศษของหลักการแพร่กระจายคลื่น (Propagation path characteristics) ของระบบการสื่อสารแบบไร้สายด้วย

การพัฒนาระบบสื่อสารแบบไร้สายนั้น หลายๆระบบได้พัฒนาจากระบบอนาล็อกสู่ระบบดิจิตอล เพื่อสามารถนำมาใช้งานในรูปแบบมัลติมีเดียร่วมกับโครงข่ายอินเตอร์เน็ต ระบบสื่อสารไร้สายแบบดิจิตอลจะมีพื้นที่ครอบคลุมน้อยกว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมทั้งมีขนาดที่เล็กลง เพื่อสะดวกในการพกพา หลังจากปี ค.ศ. 1980 ได้เริ่มมีการใช้งานโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอลอย่างแพร่หลาย ถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ให้บริการที่สามารถให้บริการภายในตัวอาคาร บ้าน สำนักงาน หรือภายนอกอาคาร เช่น สถานีรถไฟ เป็นต้น แต่ด้วยคุณภาพของการใช้งานที่เทียบเท่าโทรศัพท์ไร้สาย จึงได้มีการนำเทคนิคการใช้เซลขนาดเล็กมาใช้ เพื่อขยายพื้นที่การให้บริการ และพัฒนาไปสู่ระบบการสื่อสารส่วนบุคคล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก

ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกมีความนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการใช้งานสำหรับที่พักอาศัย โดยใช้คลื่นวิทยุในการเชื่อมต่อแทนการใช้สาย เพื่อให้ผู้ใช้สามารถที่จะเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนก็ได้ ในขณะที่มีการใช้งาน ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกได้ถูกนำมาใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นเวลานานพอสมควรแล้ว โดยในระยะแรก ความถี่ที่จัดสรรให้กับโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก จะใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (FDD : Frequency Division Duplex) แบ่งออกเป็น 2 แถบความถี่ๆละ 10 ช่องสัญญาณ โดยในแถบความถี่แรกจะอยู่ในย่าน 49. MHz ใช้สำหรับการส่งสัญญาณจากตัวเครื่องโทรศัพท์ไปยังสถานีฐาน (Uplink หรือแถบความถี่ขาขึ้น) ส่วนแถบความถี่ที่สองจะอยู่ในย่าน 1.6 MHz ใช้สำหรับการส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังตัวเครื่องโทรศัพท์ (Downlink หรือแถบความถี่ขาลง) แต่การจัดสรรความถี่ในลักษณะนี้ไม่ค่อยจะมีประสิทธิภาพในการทำงานมากเท่าไรนัก ต่อมาในปี 1984 จึงได้มีการจัดสรรแถบความถี่ โดยใช้แถบความถี่ขาลงในย่าน 46.6 - 47.0 MHz และใช้แถบความถี่ขาขึ้นในย่าน 49.6 - 50.0 MHz และแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 10 ช่องๆละ 40 kHz มีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเป็น 20 kHz และมีค่ากำลังการแผ่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นจริง (ERP : Effective Radiated Power) เป็น 20 mW ใช้เทคนิคการมอดูเลททางความถี่ (FM : Frequency Modulation) แบบอนาล็อกสำหรับสัญญาณเสียง นอกจากนี้ยังมีการเข้ารหัสสัญญาณแบบดิจิตอล เพื่อรักษาความปลอดภัยของระบบสัญญาณ แต่ยังคงมีความความพยายามจากภาคอุตสาหกรรมทางโทรคมนาคม ที่จะขอเพิ่มจำนวนคู่ความถี่ เพื่อแก้ไขปัญหาความแออัดของการใช้ช่องสัญญาณและคุณภาพของเสียงที่ด้อยลง เนื่องจากมีปริมาณการใช้งานสูง จึงทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณ หรือการอินเตอร์เฟอร์เร้นท์ (Interference) จึงทำให้คุณภาพของเสียงด้อยลง ลักษณะการใช้งานของโทรศัพท์ไร้สายโดยทั่วไปแล้ว จะใช้อยู่ในบริเวณที่มีขอบเขตจำกัด เช่น บ้าน อาคารที่พักอาศัย สำนักงาน หรือตึกสูงๆ และใช้งานที่ความเร็วในการเคลื่อนต่ำ เช่น ความเร็วในการเดิน เป็นต้น

ในประเทศอังกฤษก็ใช้มาตรฐานโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกระบบ CT0 โดยใช้แถบความถี่ขาลงในย่านความถี่เข้าใกล้ 1.7 MHz และใช้แถบความถี่ขาขึ้นในย่าน 47.5 MHz ในแต่ละแถบความถี่จะแบ่งเป็น 8 ช่องสัญญาณ ซึ่งเครื่องโทรศัพท์ไร้สายส่วนใหญ่จะมีขีดจำกัดในการใช้เพียงหนึ่ง หรือสองช่องสัญญาณเท่านั้น

ในยุโรป มีการนำมาตรฐานโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกที่เรียกว่าระบบ CEPT/CT1 มาใช้ โดยโทรศัพท์ไร้สายในระบบนี้ จะใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ออกเป็น 2 แถบความถี่ๆละ 40 ช่องสัญญาณ มีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 25 kHz โดยใช้แถบความถี่ขาขึ้นในย่าน 914-915 MHz และแถบความถี่ขาลงในย่าน 959-960 MHz เครื่องโทรศัพท์ไร้สายระบบ CEPT/CT1 สามารถเลือกใช้ช่องความถี่จากช่องความถี่ทั้งหมด 40 ช่องความถี่ในการใช้งานแต่ละครั้ง จำนวนช่องความถี่ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ได้คุณภาพของเสียงที่ดีกว่า และมีค่าความน่าจะเป็นของการโทรไม่ติดต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงทำให้สามารถใช้งานได้ทั่วไป แม้ในบริเวณที่มีประชากรหนาแน่น เช่น ศูนย์การค้า สถานีขนส่ง โรงแรม หรือสนามบิน เป็นต้น

ในประเทศญี่ปุ่น ได้มีการจัดสรรช่องความถี่ดูเพล็กซ์สำหรับโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก จำนวน 89 ช่องสัญญาณ ในย่านความถี่ 254 MHz สำหรับแถบความถี่ขาขึ้นและความถี่ 380 MHz สำหรับแถบความถี่ขาลง โดยระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 12.5 kHz และมีกำลังส่งสูงสุด 10 mW ซึ่งมาตรฐานในประเทศญี่ปุ่น จะแตกต่างจากมาตรฐานของระบบ CEPT/CT1 โดยโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกของประเทศญี่ปุ่นนั้น จะประกอบด้วยช่องสัญญาณควบคุมจำนวนสองช่องสัญญาณ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารให้มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

2.2.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอล

ในขณะที่ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก สร้างขึ้นสำหรับการใช้งานภายในที่พักอาศัย ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอลนั้นก็ได้ทำการประยุกต์และพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อให้สามารถใช้งานได้ทั้งภายในอาคาร เช่น บ้าน ที่พักอาศัย สำนักงาน อาคารพาณิชย์ และภายนอกอาคาร เช่น ในย่านธุรกิจ หรือศูนย์การค้าต่างๆในการใช้งานระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอลนั้น ผู้ใช้บริการสามารถที่จะเคลื่อนที่ไปยังที่ใดก็ได้ ขณะที่มีการสนทนากันอยู่ โดยสามารถจะเรียกใช้บริการ หรือยกเลิกการติดต่อได้ ในขณะเคลื่อนที่อยู่ในบริเวณที่คลื่นครอบคลุมถึง ด้วยความเร็วของการเดินเท้า ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอลที่เป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ได้แก่ระบบ CT2 (Cordless Telephone generation two) ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone) ระบบ PACS (Personal Access Communication Systems) และระบบ PHS (Personal Handy-phone System)

2.2.2.1 ระบบ CT2

CT2 เป็นมาตรฐานระบบโทรศัพท์ไร้สายรุ่นที่สองที่มีการนำมาใช้ในประเทศอังกฤษเมื่อปี 1989 โดยพัฒนามาจากระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกในยุคแรก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้งานระหว่างระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกและระบบ CT2 จะเห็นได้ว่าระบบ CT2 จะให้คุณภาพเสียงพูดที่ดีกว่า สามารถป้องกันสัญญาณรบกวน (Noise) การจางหายของสัญญาณ (Fading) และการเกิดสัญญาณแทรกซ้อนจากผู้ใช้บริการอื่น (Interference) มีรหัสเลขหมายส่วนบุคคล (PIN : Personal Identification Number) เพื่อป้องกันการลักลอบใช้งาน เครื่องโทรศัพท์ในระบบ CT2 มีเวลาในการสนทนา (Talk-time) นานถึง 3 ชั่วโมงและเวลาในเปิดเครื่องคอย (Standby time) ประมาณ 40 ชั่วโมง สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง และมีการจัดสรรช่องความสัญญาณแบบไดนามิก ซึ่งสะดวกสบายในการออกแบบระบบ เนื่องจากการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกสามารถจัดสรรช่องความถี่ของสัญญาณให้แก่ผู้ใช้ได้อย่างอัตโนมัติในกรณีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องสัญญาณไม่เพียงพอต่อปริมาณการใช้บริการในขณะนั้น ทำให้สามารถรองรับการใช้บริการในบริเวณอาคาร สำนักงาน หรือภายในตัวเมืองที่มีผู้ใช้บริการหนาแน่น

ระบบ CT2 ได้รับการออกแบบมาให้ใช้สภาพสิ่งแวดล้อมที่เป็นบ้านเรือน รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่เป็นอาคารสำนักงาน สำหรับประเทศไทยได้นำระบบ CT2 นี้มาให้บริการโทรศัพท์ที่เรียกว่า "บริการโฟนพ้อยท์" (Phonepoint services) ซึ่งนิยมใช้กันมากในบริเวณศูนย์การค้า หรือบริเวณที่มีผู้คนหนาแน่น โดยการให้บริการโฟนพ้อยท์นั้น ผู้ใช้สามารถใช้เครื่องโทรศัพท์ไร้สายดิจิตอลระบบ CT2 ที่จุดให้บริการโฟนพ้อยท์สาธารณะ (บริเวณตู้โทรศัพท์สาธารณะหรือเสาไฟฟ้า) เพื่อเชื่อมต่อเข้าสู่โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN : Public Switched Telephone Network) มีลักษณะการทำงานคล้ายกับโทรศัพท์สาธารณะแบบไร้สาย ระบบ CT2 มีการติดต่อสื่อสารทิศทางเดียว (One-way outgoing หรือ Half duplex) ผู้ใช้บริการสามารถทำการเริ่มต้นการเรียกและสนทนาได้ภายในรัศมีพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานเมื่อผู้ใช้บริการมีการเคลื่อนที่ออกนอกเซลก็จะสูญเสียการเชื่อมต่อทันที นั่นคือ โทรศัพท์ระบบ CT 2 นี้จะไม่มีการข้ามเซล หรือการแฮนด์โอเวอร์เกิดขึ้น

โทรศัพท์ไร้สายระบบ CT2 ที่ใช้ในประเทศอังกฤษจะเรียกระบบนี้ว่า "รับบิท (Rabbit)" ส่วนในประเทศฝรั่งเศสจะเรียกว่า "บิบ็อป (Bibop)"ซึ่งการให้บริการยังไม่เป็นที่สนใจมากนัก แต่จะเป็นที่นิยมใช้ในประเทศแถบเอเชีย โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้งานร่วมกับระบบเพจเจอร์ ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบทิศทางเดียวเช่นเดียวกับระบบ CT2 ก็สามารถทำการสื่อสารได้แบบสองทิศทาง โดยเมื่อมีสัญญาณเรียกมายังเครื่องเพจเจอร์ ก็สามารถที่จะใช้เครื่องโทรศัพท์ CT2 ในการติดต่อกลับไปยังผู้เรียก ซึ่งประเทศที่นิยมใช้ระบบ CT2 ในแถบเอเชีย ก็ได้แก่ ฮ่องกง จีน มาเลเซีย และประเทศไทย เป็นต้น

มาตรฐานของระบบ CT2 จะกำหนดวิธีการการติดต่อสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุระหว่างเครื่องโทรศัพท์ไร้สายชนิดอยู่กับที่ (CFP : Cordless Fixed Part) กับเครื่องโทรศัพท์ไร้สายชนิดพกพา (CPP : Cordless Portable Párt) เอาไว้ โดยความถี่ที่จัดสรรไว้สำหรับระบบ CT2 ในโซนยุโรป และฮ่องกงอยู่ในช่วง 864.10 MHz ถึง 868.10 MHz และใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDD : Time Division Duplex) แบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 40 ช่องสัญญาณ โดยมีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเป็น 100 kHz มีการกำหนดเทคนิคในการเข้ารหัสเสียง (Speech coding techniques) รวมทั้งมาตรฐานการอินเตอร์เฟสทางอากาศของสัญญาณไว้สามเลเยอร์ อันได้แก่

เลเยอร์ที่หนึ่ง จะกำหนดเทคนิคของการดูเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDD : Time Division Duplex) การมัลติเพล็กซ์ข้อมูล (Data multiplexing) และสถานะเริ่มต้นของการเชื่อมต่อ (Link initiation) และการปรับระบบเข้าหากัน (Handshaking)

เลเยอร์ที่สอง กำหนดการรับรู้ข้อมูลและการตรวจจับข้อผิดพลาด รวมทั้งการรักษาการติดต่อให้คงไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลเยอร์ที่สาม กำหนดโปรโตคอลที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างระบบ CT2 กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ โดยมาตรฐานการอินเตอร์เฟสทางอากาศสำหรับระบบ CT2 จะแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของระบบ CT2

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	864.15 - 868.05 MHz
เทคนิคการทำงาน	FDMA
เทคนิคการดูเพล็กซ์	TDD
จำนวนช่องสัญญาณ	40
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	100 kHz
จำนวนช่องสัญญาณต่อคลื่นพาหะ	1
ชนิดของการมอดูเลท	GFSK (BT=3) 2 ระดับ
ความเร็วในการส่งข้อมูล	72 kbps
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM ที่อัตรา 32 kbps
กำลังการแผ่กระจายคลื่นสูงสุด	10 mW
การจัดสรรช่องสัญญาณ	ไดนามิก
ความไวของภาครับสัญญาณ	40 dB
ช่วงเวลาของเฟรม	2 ms
อัตราเร็วของช่องสัญญาณควบคุม (สุทธิ)	1000/2000 bps
การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	CRC

2.2.2.2 ระบบ DECT

ระบบ DECT เป็นมาตรฐานโทรศัพท์ไร้สายสากล ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยสถาบันมาตรฐานโทรคมนาคมของยุโรป (ETSI : European Telecommunication Standards Institute) โดยเป็นมาตรฐานเริ่มแรกทั่วยุโรป สำหรับโทรศัพท์ไร้สายซึ่งสำเร็จลงเมื่อเดือนกรกฎาคมปี 1992 โดยมาตรฐานของระบบ DECT จะแสดงดังตารางที่ 2.2

ระบบ DECT จะสามารถใช้ในการติดต่อสื่อสารในบริเวณที่มีความหนาแน่นของทราฟฟิคการใช้งานสูง โดยระบบ DECT สามารถที่จะให้บริการการสื่อสารได้ทั้งเสียง โทรสาร และข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเนื่องจากระบบ DECT มีลักษณะโครงสร้างตามมาตรฐาน OSI (Open Standard Interconnection) ดังนั้นจึงสามารถใช้บริการร่วมกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิตอล และโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูล่าร์อื่นๆ เช่นระบบ GSM (Global System for Mobile) หรือระบบ AMPS (Advanced Mobile Phone Service) เป็นต้น แต่เนื่องจากระบบ DECT ใช้กำลังส่งและรับต่ำ ดังนั้นจึงมีพื้นที่ครอบคลุมที่จำกัด โดยจะใช้งานได้ในระยะทางประมาณ 50 ถึง 100 เมตรภายในตัวอาคาร และระยะทางประมาณ 500 เมตรสำหรับพื้นที่โล่ง

ระบบ DECT จะมีสถาปัตยกรรมตามมาตรฐาน OSI (Open System Interconnection) ในลักษณะเดียวกับโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิตอล (ISDN) โดยมีส่วนควบคุมและส่วนผู้ใช้บริการจะรับข้อมูลจากเลเยอร์ทางกายภาพและเลเยอร์ควบคุมการทำงาน (MAC : Medium Access Control layer) ซึ่งระบบ DECT สามารถที่ให้บริการได้ถึง 6000 ราย โดยไม่จำเป็นที่จะต้องระบุตำแหน่งของผู้ใช้บริการ โดยเลเยอร์ของระบบ DECT จะประกอบไปด้วย

เลเยอร์ทางกายภาพ (Physical layer) ใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแบบแบ่งความถี่ (FDMA : Frequency Division Multiple Access) เทคนิคการส่งสัญญาณแบบแบ่งเวลา (TDMA : Time Division Multiple Access) และใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDD : Time Division Duplex) และใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิก ใน 1 ไทม์สล็อตของ TDMA จะเลือกใช้ 1 ช่องสัญญาณเพียงช่องเดียวจากจำนวนทั้งหมด 10 ช่อง โดยช่องสัญญาณมีแถบความกว้างเป็น 1.5x1152 kbps ซึ่งจะมีค่าความเร็วในการส่งข้อมูลเท่ากับ 1.728 MHz ในระบบ DECT หนึ่งเฟรมประกอบด้วย 24 ไทม์สล็อตและจะแบ่งไทม์สล็อตออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆกัน ส่วนแรกจะใช้ในการส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่วนที่สอง จะใช้ในการส่งสัญญาณจากตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน โดยเฟรมของระบบ DECT จะมีช่วงเวลาเท่ากับ 10 ms โดยหนึ่งไทม์สล็อตจะมีขนาด 480 บิท ประกอบไปด้วยเป็นบิทซิงค์โครไนส์ 32 บิท บิทข้อมูล 388 บิทและบิทควบคุม 60 บิท

เลเยอร์ควบคุมการทำงาน (MAC : Medium Access Control layer) จะประกอบไปด้วยช่องสัญญาณเรียก (Paging channel) และช่องสัญญาณควบคุม (Control channel) สำหรับถ่ายโอนข้อมูลของสัญญาณไปยังส่วนควบคุมและส่วนผู้ใช้บริการ มีอัตราเร็วของช่องสัญญาณของข้อมูลผู้ใช้บริการอยู่ที่ 32 kbps และมีความเร็ว 64 kbps สำหรับการใช้งานในโครงข่าย ISDN นอกจากนี้ยังสามารถทำการแฮนด์ออฟในขณะที่มีการเรียกได้อีกด้วย

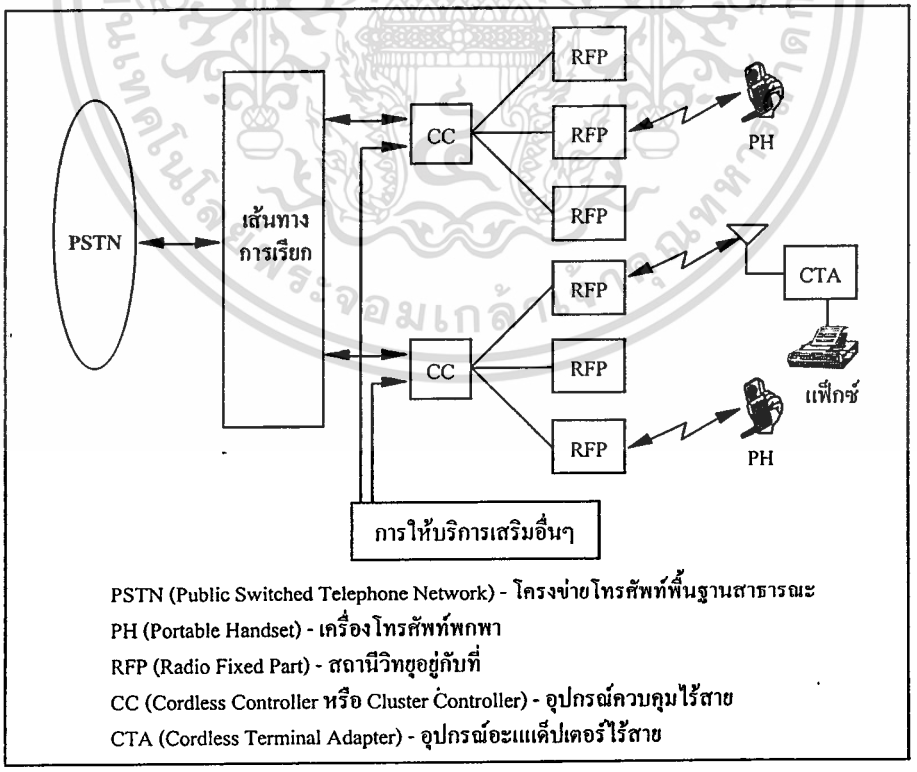
เลเยอร์ควบคุมการเชื่อมโยงข้อมูล (DLC : Data Link Control layer) จะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อไปยังเลเยอร์โครงข่าย และแบ่งช่องสัญญาณลอจิกคอลและช่องสัญญาณฟิสิกคอลออกเป็นไทม์สล็อต แล้วส่งให้ผู้ใช้บริการแต่ละคน

เลเยอร์โครงข่าย (Network layer) เป็นเลเยอร์หลักของระบบสัญญาณในระบบ DECT ทำหน้าที่การควบคุมการเรียก และการบริการสลับวงจรระหว่างชุมสาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานของระบบ DECT

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	1880-1900 MHz
เทคนิคการทำงาน	FDMA/TDMA
เทคนิคการดูเพล็กซ์	TDD
จำนวนช่องสัญญาณ	10
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	1728 kHz
จำนวนช่องสัญญาณต่อคลื่นพาหะ	12
ชนิดของการมอดูเลท	GMSK
ความเร็วในการส่งข้อมูล	1152 kbps
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM ที่อัตรา 32 kbps
การจัดสรรช่องสัญญาณ	ไดนามิก
ช่วงเวลาของเฟรม	10 ms
การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	CRC
กำลังงานส่งเฉลี่ย	10 mW



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบ DECT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างระบบ DECT จะประกอบด้วย เครื่องโทรศัพท์พกพา (PH : Portable Handset) ส่วนของอุปกรณ์อะแด็ปเตอร์ปลายทางไร้สาย (CTA : Cordless Terminal Adapter) เพื่อใช้สำหรับแฟ็กซ์ หรือการสื่อสารด้วยภาพเคลื่อนไหว สถานีวิทยุ หรือสถานีฐาน (RFP : Radio Fixed Part) คอนโทรลเลอร์แบบไร้สาย (CC : Cordless Controller หรือ Cluster Controllers) ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของระบบ และหน่วยอินเตอร์เฟสระหว่างโครงข่าย จะทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อสัฐฐาณของเครื่องโทรศัพท์ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องโทรศัพท์หลายๆเครื่อง โดยใช้มาตรฐานการอินเตอร์เฟส CCITT G.732

2.2.2.3 ระบบ PACS

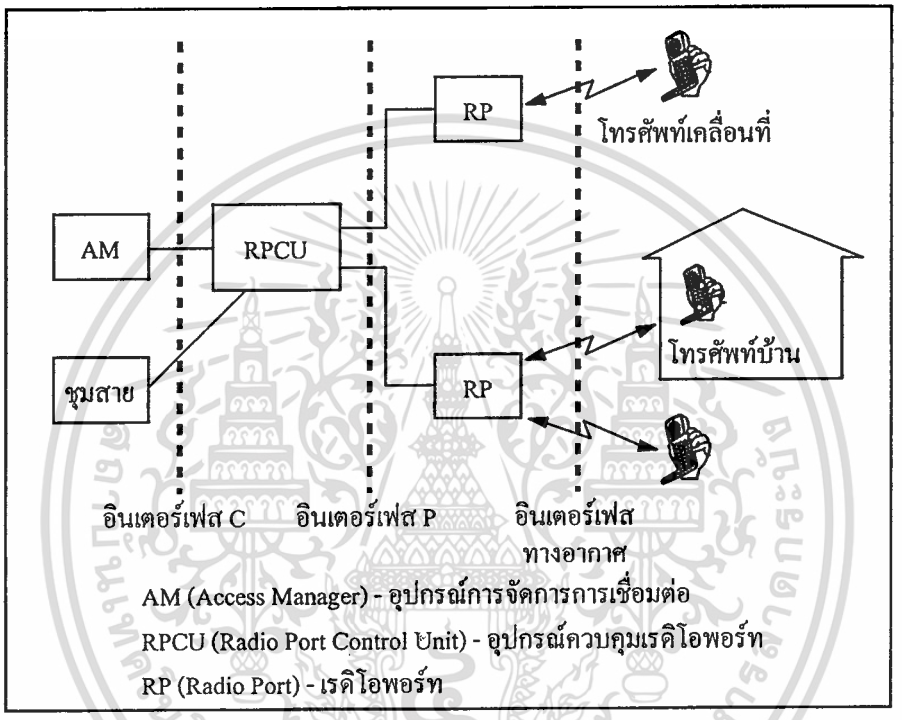
PACS เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลรุ่นที่สาม ที่พัฒนาขึ้นโดย เบลล์คอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกาในปี 1992 เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวางทั้งในระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลและสาธารณะ โดยระบบ PACS จะสามารถให้บริการได้ทั้ง เสียง ข้อมูล และภาพเคลื่อนไหว สำหรับการใช้งานภายในอาคารและภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานของระบบ PACS

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	1850-1910 MHz(Uplink) 1930-1990 MHz (Downlink)
เทคนิคการทำงาน	TDMA
เทคนิคการดูเพล็กซ์	FDD
จำนวนช่องสัญญาณ	8
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	300 kHz
ชนิดการมอดูเลท	$\pi/4$-DQPSK
แถบความถี่ของช่องสัญญาณ	120 MHz
ความเร็วในการส่งข้อมูล	384 kbps
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM ที่อัตรา 32 kbps
การจัดสรรช่องสัญญาณ	แบบตายตัว
ช่วงเวลาของเฟรม	2.5 ms
การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	CRC
กำลังส่งเฉลี่ยของสถานีฐาน	800 mW
กำลังส่งเฉลี่ยของเครื่องโทรศัพท์	25 mW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ PACS จะใช้เทคโนโลยีของเซลขนาดเล็ก หรือไมโครเซลล์ ซึ่งจะมีพื้นที่ครอบคลุมการบริการในรัศมี 500 เมตร และสามารถใช้งานร่วมกับชุมสายปลายทางส่วนบุคคลภายในอาคาร โดยใช้เทคนิคการทำงานแบบแบ่งความถี่ เมื่อมีการใช้งานภายนอกอาคารในลักษณะที่วางสถานีฐานเป็นโครงข่ายสาธารณะ และจะใช้เทคนิคการทำงานแบบแบ่งเวลา เมื่อใช้งานภายในอาคาร หรือในลักษณะที่วางสถานีฐานเป็นโครงข่ายภายในอาคาร โดยทำงานร่วมกับชุมสายปลายทางส่วนบุคคลอัตโนมัติแบบไร้สาย (WPABX : Wireless Private Automatic Exchange)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของระบบ PACS

รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของระบบ PACS ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ตัวเครื่องโทรศัพท์ของผู้ใช้บริการ (SU : Subscriber Unit) ซึ่งสามารถใช้งานในลักษณะของโทรศัพท์บ้าน หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่วนของเรดิโอพอร์ท (RP : Radio Ports) หรือส่วนของสถานีฐาน ซึ่งจะเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมเรดิโอพอร์ท (RPCU : Radio Port Control) และส่วนสุดท้ายคืออุปกรณ์การจัดการเชื่อมต่อ (AM : Access Manager) โดยส่วนของอินเตอร์เฟส A ซึ่งเป็นอินเตอร์เฟสทางอากาศ จะเป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างส่วนของตัวเครื่องโทรศัพท์กับส่วนของเรดิโอพอร์ท และอินเตอร์เฟส P จะเป็นมาตรฐานโปรโตคอลที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างตัวเครื่องโทรศัพท์ผ่านเรดิโอพอร์ทไปยังส่วนของอุปกรณ์ควบคุมเรดิโอพอร์ท นอกจากนี้ อินเตอร์เฟส P จะประกอบด้วยส่วนของช่องสัญญาณปฏิบัติการภายใน (EOC : Embedded Operations Channel) เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ควบคุมเรดิโอพอร์ทกับส่วนของเรดิโอพอร์ทเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และส่วนของอินเตอร์เฟส C เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างส่วนควบคุมเรดิโอพอร์ทกับชุมสาย ซึ่งจะเป็นไปตามมาตรฐาน JTC STD-014

2.2.2.4 โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิตอลที่พัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่น โดยศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาระบบคลื่นวิทยุ (R & D Center) และคณะกรรมาธิการโทรคมนาคม (TCC : Telecommunications Technical Committee) โดยจะมีการติดตั้งสถานีฐานจำนวน 5.5 ล้านเครื่องในปี 1998 และติดตั้งเพิ่มเติมอีกจำนวน 39 ล้านเครื่องในปี 2010

หลักการของการให้บริการในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส จะประกอบด้วย การให้บริการในส่วนของ

- การสื่อสารไร้สายหลายสื่อหรือมัลติมีเดีย (Multimedia)
- การสื่อสารเคลื่อนที่
- การสื่อสารแบบสองทิศทางอย่างสมบูรณ์แบบ
- ความสามารถในการเข้าถึงโครงข่าย

โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส มีเครื่องลูกข่ายที่มี ขนาดเล็ก เบาบาง สามารถใช้งานได้ทั้งภายในบ้าน อาคาร สำนักงาน หรือภายนอกอาคาร โดยในการใช้งานนั้นสามารถนำมาใช้งานร่วมกับระบบสื่อสารในโครงข่ายอื่นๆ เช่น โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN : Public Switched Telephone Network) โครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิตอล (ISDN : Integrated Services Digital Network) ซึ่งสามารถให้บริการได้ทั้ง เสียง ข้อมูล ตัวอักษร โทรสาร และภาพ ซึ่งโครงข่ายของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส เป็นโครงข่ายระบบดิจิตอล ดังนั้น จึงมีความปลอดภัยในการใช้งานสูง

ซึ่งพัฒนาการอันนำมาสู่โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสนั้น จะมีวัตถุประสงค์สำคัญ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการในการติดต่อสื่อสารให้เข้าสู่ระบบการสื่อสารส่วนบุคคล โดยทำการศึกษา และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น ระบบเซลลูล่าร์ ระบบวิทยุติดตามตัว และระบบโทรศัพท์ไร้สาย ซึ่งข้อเสียเปรียบของระบบดังกล่าวได้แก่

ข้อเสียเปรียบของระบบเซลลูล่าร์ (Cellular System)

- เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถพกพาไปไหนได้อย่างสะดวกสบาย แต่ยังมีขีดจำกัด คือ ตัวเครื่องโทรศัพท์มีราคาแพง และอัตราค่าบริการยังคงสูงเกินไป
- เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์แบบอนาล็อกยังคงมีปัญหาในเรื่องของสัญญาณรบกวน
- อายุการใช้งานของแบตเตอรี่สั้น ต้องทำการชาร์จแบตเตอรี่บ่อยครั้ง
- ความจุในการใช้งานช่องสัญญาณไม่เพียงพอต่อการรับและส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-ระบบเซลลูล่าร์แบบอนาล็อก ไม่มีความปลอดภัยในการใช้งาน ง่ายต่อการดักฟังสัญญาณหรือการสนทนาโดยบุคคลที่สาม

ข้อเสียเปรียบของระบบโทรศัพท์ไร้สาย (Cordless Telephone)

-มีขีดจำกัดในการใช้งาน โดยสามารถใช้งานภายในบ้าน หรือบริเวณใกล้ๆ เซลสเตชั่นในรัศมี 100 เมตร

-ไม่มีความปลอดภัยในการใช้งาน ง่ายต่อการดักฟังสัญญาณ หรือการสนทนาโดยบุคคลที่สาม

ข้อเสียเปรียบของระบบวิทยุติดตามตัว (Paging System)

-ตัวเครื่องเพจเจอร์มีความสะดวกในการใช้งานสามารถพกพาไปไหนได้อย่างสะดวก อัตราค่าบริการต่ำ แต่เป็นการสื่อสารระบบทิศทางเดียวไม่สามารถส่งสัญญาณเสียงพูดได้

ดังนั้นโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ได้ทำการพัฒนาโครงข่าย เพื่อพัฒนาไปสู่การสื่อสารส่วนบุคคล โดยได้มีนำเทคนิคต่างๆ มาใช้ในการพัฒนาระบบ อันได้แก่

1. การใช้เทคโนโลยีของเซลขนาดเล็ก (Micro cell structure)

- เมื่อลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเซลสเตชั่น
- เพื่อลดกำลังงานในการส่งและรับทำให้ลดขนาดและน้ำหนักของเครื่องลูกข่าย
- เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้งานโทรศัพท์ในบริเวณที่มีทราฟฟิคสูง

2. การใช้งานบนโครงข่ายเดิมที่มีอยู่ - เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสร้างโครงข่ายใหม่

3. การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุระบบดิจิตอล

- เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสาร
- เพื่อรองรับการสื่อสารในระบบมัลติมีเดีย
- เพื่อลดขนาดและน้ำหนักของเครื่องลูกข่าย
- เพื่อลดปัญหาอันเนื่องมาจากการดักฟัง

4. การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิก

- ง่ายต่อการออกแบบและติดตั้งเซลสเตชั่น
- เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

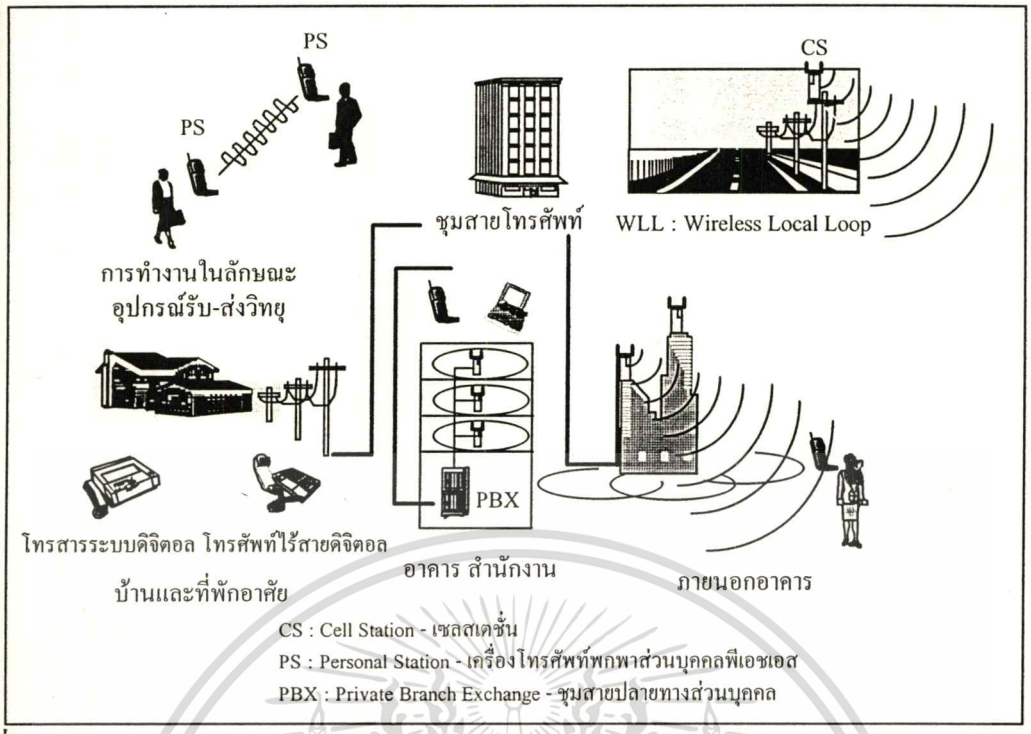
5. การเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบอะแด็บทีฟดิฟเฟอร์เร้นท์เชียลพัลซ์โค้ดมอดูเลท (ADPCM : Adaptive Differential Pulse Code Modulation) ที่อัตรา 32 kbps

- เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของคุณภาพเสียงในการสื่อสาร
- รองรับการใช้เครื่องโทรสาร G3

โดยโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลได้ถูกพัฒนามาจาก ARIB (Association of Radio and Industries and Businesses) และ TTC (Telecommunication Technology Committee) แห่งประเทศญี่ปุ่น และเริ่มให้บริการในเดือนกรกฎาคม ค.ศ. 1995 โดยมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. เครื่องลูกข่ายมีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา
   - ขนาด 111 ~ 150 มิลลิเมตร (ความยาว) x 43 ~ 58 มิลลิเมตร (ความกว้าง) x 21 ~ 31.5 มิลลิเมตร (ความหนา)
   - น้ำหนักประมาณ 95 ~ 220 กรัม และมีความจุ 98 ~ 189 ลูกบาศเซนติเมตร
2. เป็นการสื่อสารภายใต้หลักการที่ว่า "ทุกเวลาและทุกสถานที่ (Anytime and Anywhere)" นั้นก็คือ สามารถใช้งานได้ทุกเวลาและทุกสถานที่ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานที่บ้านในลักษณะโทรศัพท์ไร้สาย การใช้งานภายในตัวอาคาร สำนักงาน โดยการทำงานร่วมกับชุมสายปลายทางอัตโนมัติส่วนบุคคล (PABX : Private Automatic Branch Exchange) ในลักษณะของเครื่องลูกข่าย หรือการใช้งานภายนอกอาคารสำนักงาน ในลักษณะของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile telephone)
3. มีความสามารถในการใช้งานร่วมกับโครงข่ายดิจิตอลอื่น ๆ ในระบบมัลติมีเดีย
4. มีคุณภาพของเสียงสูง และปลอดภัยในการใช้งานยากต่อการดักฟัง เนื่องจากเป็นระบบดิจิตอล
5. สามารถใช้งานได้นาน สามารถเปิดเครื่องรอรับสายได้นาน 4~15 ชั่วโมง และเปิดเครื่องสแตนด์บายได้นาน 4 วัน ถึง 2 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

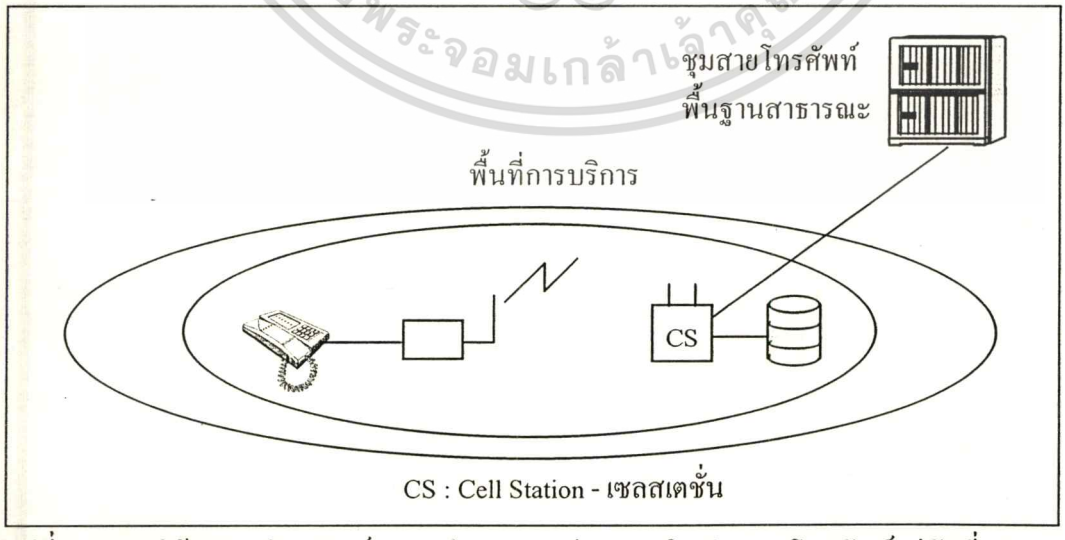


รูปที่ 2.3 แนวความคิดในการให้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

การให้บริการของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสจะประกอบไปด้วย

*** การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสโดยทั่วไป**

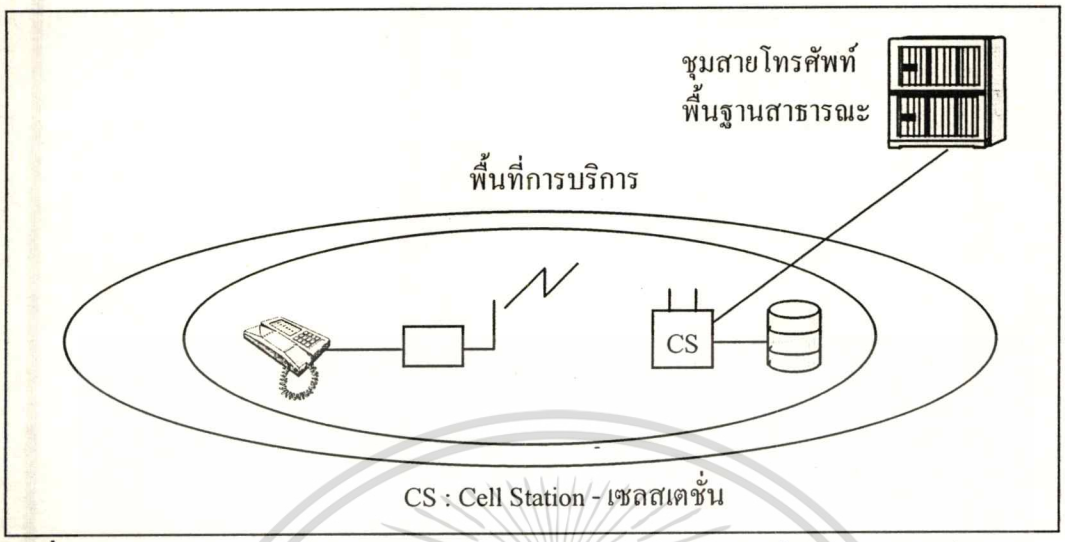
1. การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสโดยทั่วไป โดยใช้เป็นโทรศัพท์อยู่กับที่ซึ่งมีการติดต่อสื่อสารไปสู่โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ โดยการใช้สัญญาณคลื่นวิทยุแทนการใช้สายทองแดง ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะโทรศัพท์อยู่กับที่

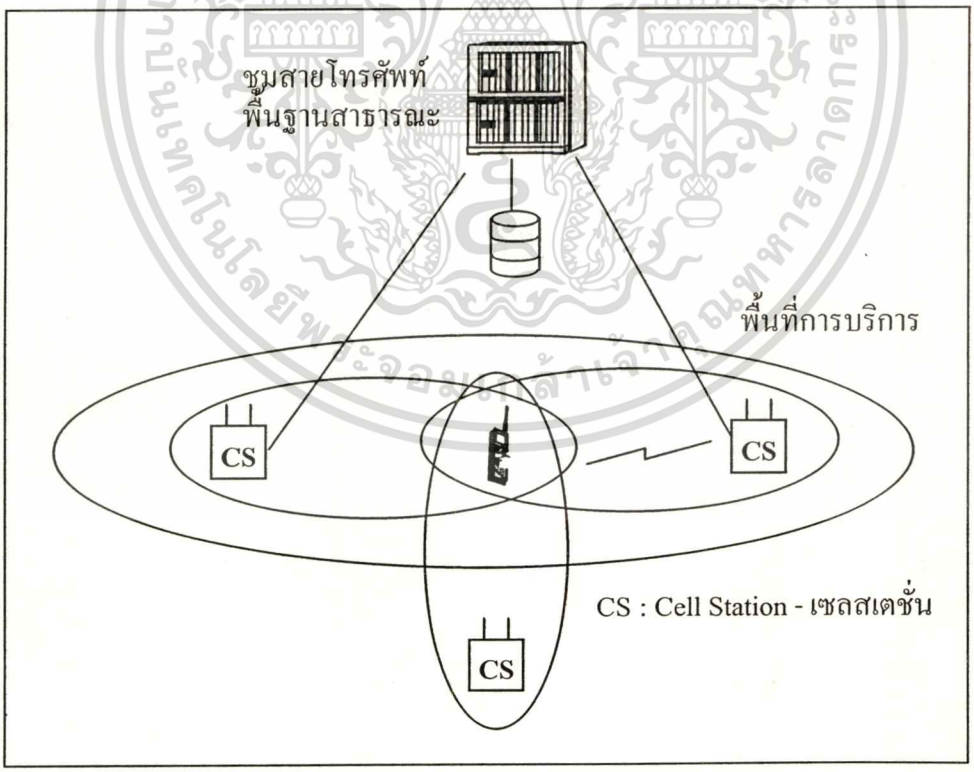
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ใช้เป็นโทรศัพท์ไร้สายภายในบ้าน (Home Cordless) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลในลักษณะโทรศัพท์ไร้สายภายในบ้าน

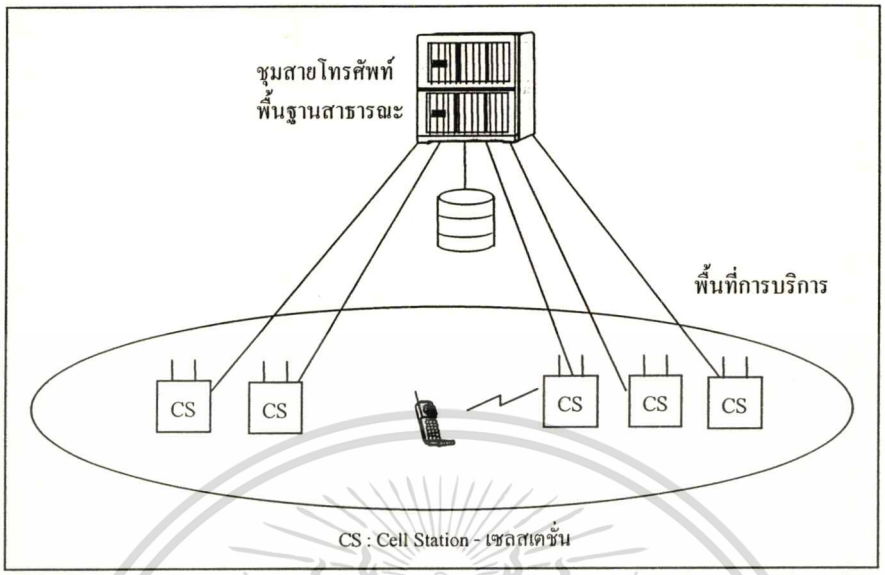
3. ใช้งานร่วมกับชุมสายปลายทางอัตโนมัติในลักษณะเครื่องลูกข่ายแบบไร้สาย



รูปที่ 2.6 การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลร่วมกับชุมสายปลายทางอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใช้งานในลักษณะการสื่อสารเคลื่อนที่



รูปที่ 2.7 การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะการสื่อสารเคลื่อนที่

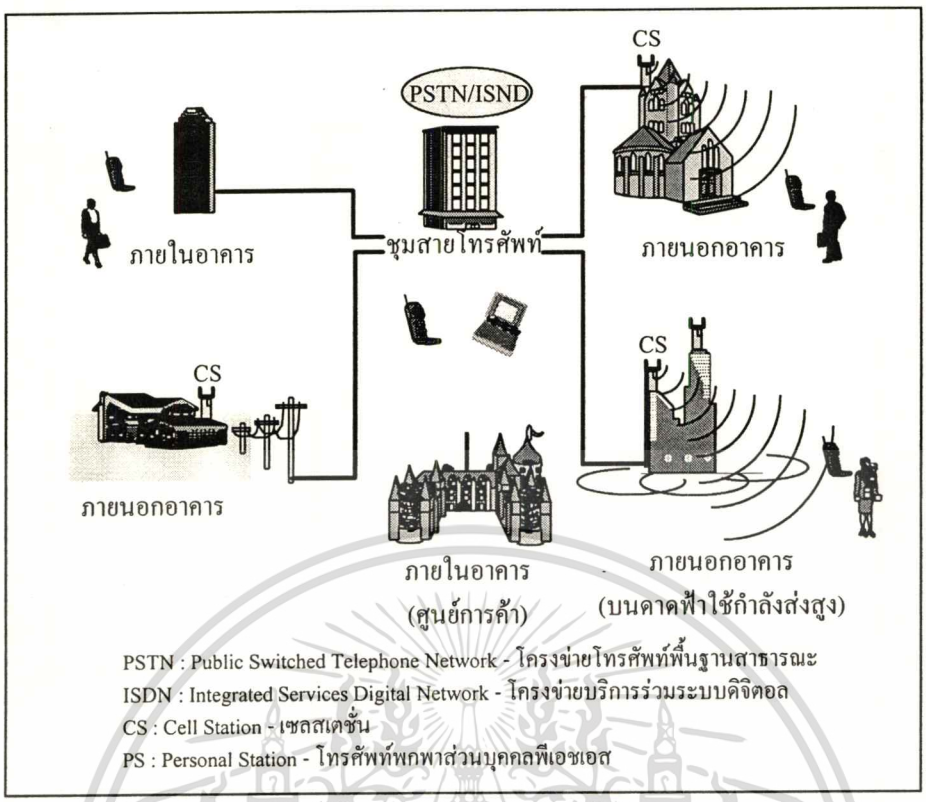
*** การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะการสื่อสารเคลื่อนที่**

โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส สามารถใช้งานภายในบ้านในลักษณะโทรศัพท์ไร้สายร่วมกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ และการใช้งานภายนอกอาคารในลักษณะการสื่อสารเคลื่อนที่ โดยจะต้องอยู่ในบริเวณที่เป็นรัศมีครอบคลุมของเซลสเตชั่น

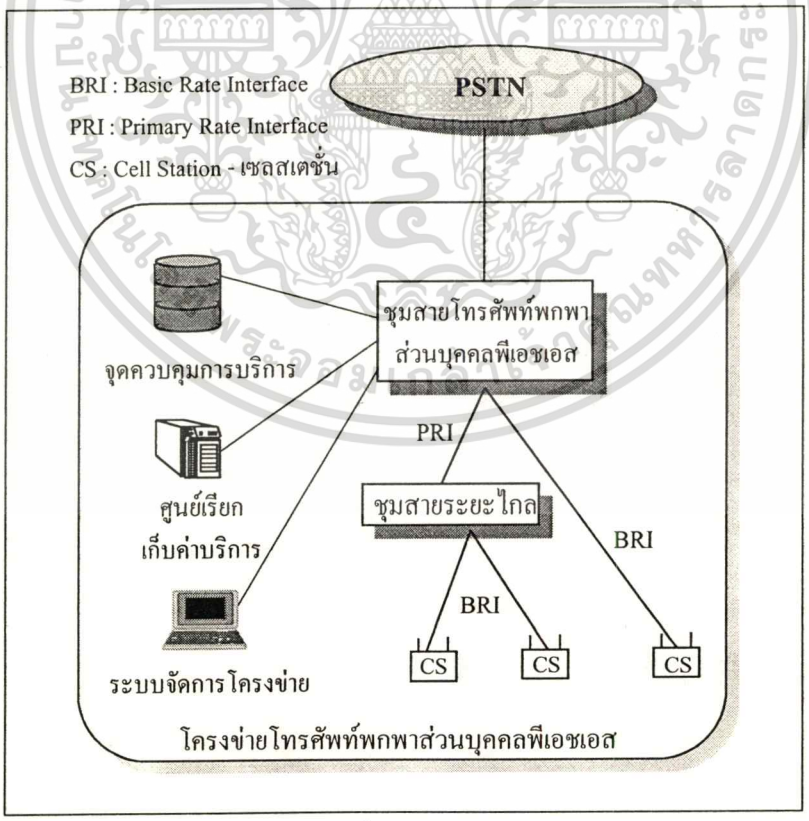
ข้อดีของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ก็คือ มีราคาถูก ทั้งนี้เนื่องจากโครงข่ายของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ใช้เทคนิคของเซลขนาดเล็กหรือไมโครเซล ดังนั้นส่วนของเซลสเตชั่นและเครื่องลูกข่ายจึงมีราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเซลลูล่าร์ โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์เป็นโครงข่ายอิสระ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากโครงข่ายเดิมที่มีอยู่ ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการสร้างโครงข่ายขึ้นมาใหม่ ส่วนโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสนั้น เป็นบริการเสริมในส่วนของโครงข่ายเดิมที่มีอยู่ เช่น โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN : Public Switched Telephone Network) หรือโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิตอล (ISDN : Integrated Services Digital Network) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายที่มีอยู่ รวมทั้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการสร้างโครงข่ายใหม่อีกประการหนึ่งด้วย

โครงข่ายของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส จะใช้วิธีการการวางโครงข่ายร่วมกับโครงข่ายของโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่มีอยู่เดิม ซึ่งจะมีการใช้งานสายส่งสัญญาณและชุมสายร่วมกับโครงข่ายเดิมให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการวางโครงข่ายน้อยที่สุด โดยสถาปัตยกรรมของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส จะแสดงดังรูปที่ 2.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.



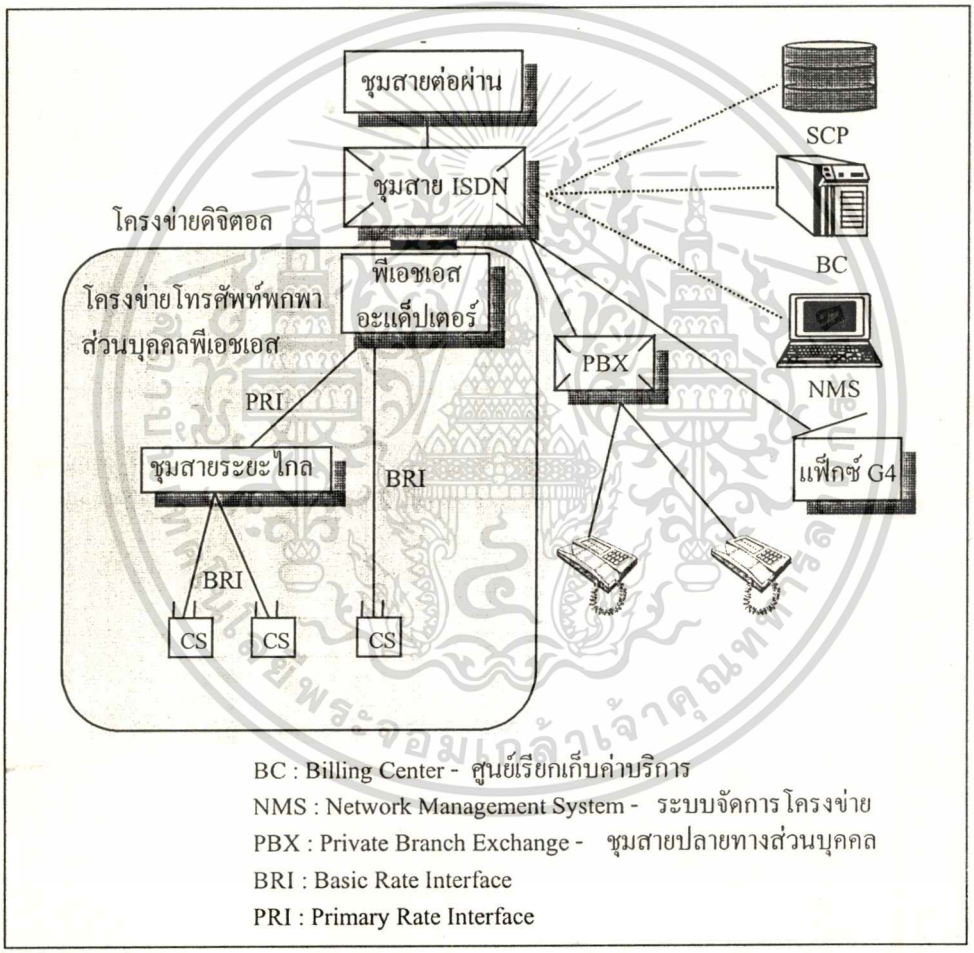
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส



รูปที่ 2.9 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

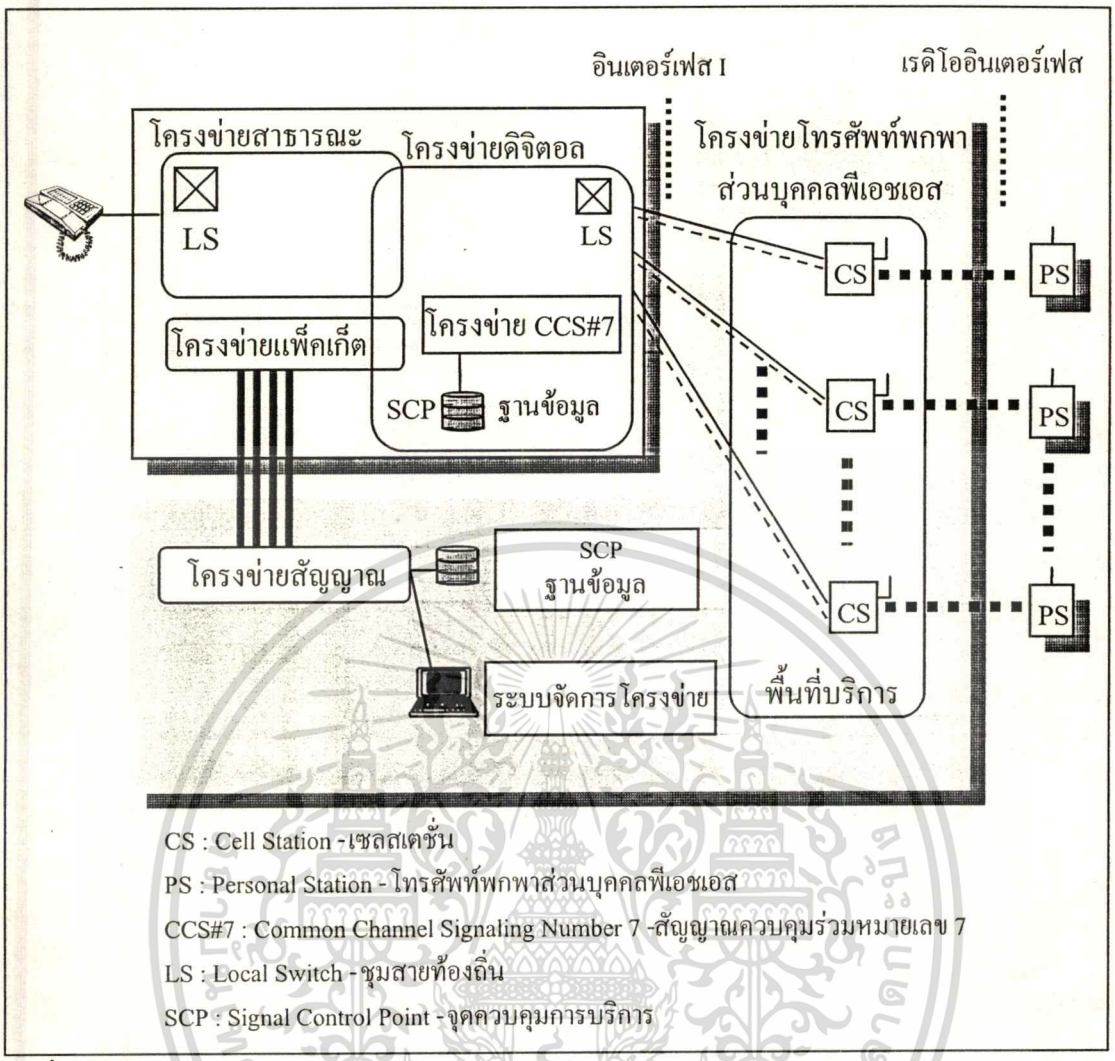
จากรูปที่ 2.9 จะแสดงให้เห็นถึงการใช้โครงข่ายร่วมกันระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส และโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN : Public Switched Telephone Network) โดยส่วนประกอบของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ที่เพิ่มเติมจากโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่มีอยู่เดิม จะประกอบไปด้วยจุดควบคุมการบริการ (SCP : Service Control Point) ศูนย์เรียกเก็บค่าบริการ (BC : Billing Center) และระบบบำรุงรักษาโครงข่าย (NMS : Network Management System) ส่วนในรูปที่ 2.10 จะเป็นการใช้งานร่วมกับโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิตอล (ISDN : Integrated Services Digital Network) ผ่านอุปกรณ์อะแด็ปเตอร์ของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส (PHS Adapter)



รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสกับโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิตอล

โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในประเทศญี่ปุ่น จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท อันได้แก่ โครงข่ายสาธารณะ (Public Network Utilizing Type) ดังแสดงในรูปที่ 2.11 และโครงข่ายอิสระ (Independent Network Type) ดังแสดงในรูปที่ 2.12

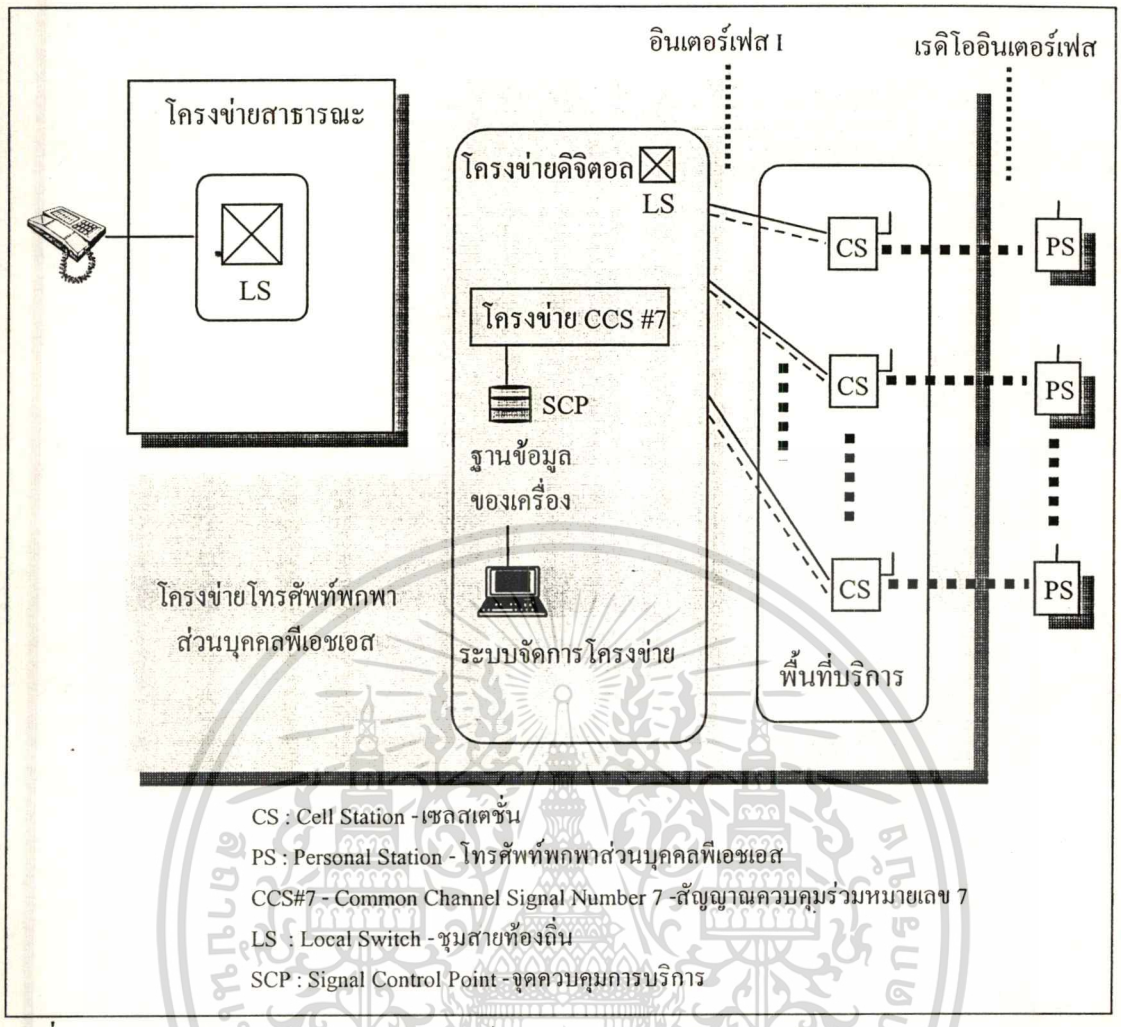
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสสาธารณะ

โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสทั้งหมด ประกอบไปด้วยส่วนของเซลสเตชั่น และโครงข่ายดิจิตอล โดยโครงข่ายดิจิตอลจะใช้เซลสเตชั่นของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ในการเชื่อมต่อภายในร่วมกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน ส่วนของโครงข่ายดิจิตอลจะประกอบไปด้วยระบบชุมสาย (Switching System) โครงข่ายของสัญญาณ (Signaling Network) โครงข่ายแพ็คเก็ต (Packet Network) จุดควบคุมสัญญาณ (SCP : Signal Control Point) ฟังก์ชั่นควบคุมการบริการ เช่น การระบุตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์ และตรวจสอบความเป็นเจ้าของที่แท้จริงของผู้ใช้บริการ และส่วนประกอบสุดท้ายของโครงข่ายดิจิตอล ก็คือ ระบบบำรุงรักษาโครงข่าย ซึ่งทำหน้าที่ในการจัดการบริหารโครงข่ายทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



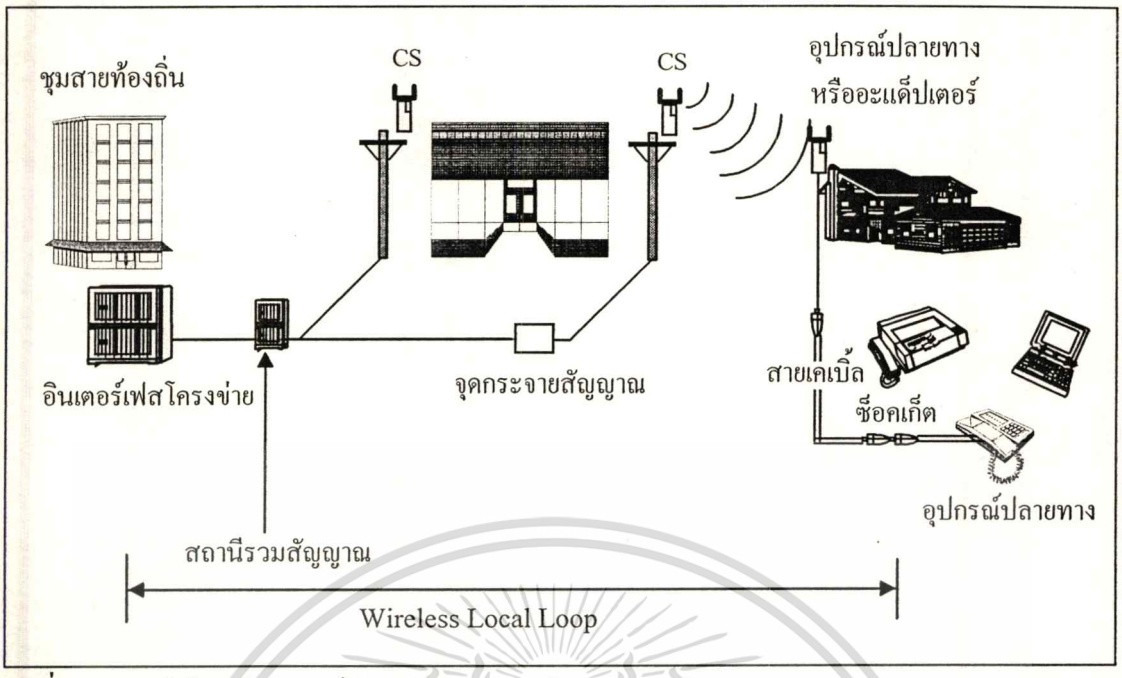
รูปที่ 2.12 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสอิสระ

*** การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะ WLL**

WLL (Wireless Local Loop) เป็นการบริการลูปท้องถิ่น (Local Loop) แบบไร้สาย หรือจะเรียกว่า โครงข่ายการเข้าถึงผู้ใช้บริการ (Customer access network) ระหว่างผู้ใช้บริการและชุมสายท้องถิ่น โดยใช้คลื่นวิทยุในการติดต่อระหว่างผู้ใช้บริการและชุมสายท้องถิ่น โดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของการใช้สาย เช่น สายทองแดง สายเคเบิ้ล หรือสายใยแก้วนำแสง

WLL มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในการติดต่อไปยังพื้นที่ที่ไม่สามารถต่อสายโทรศัพท์เข้าไปได้ โดยการใช้ระบบ WLL จะสามารถให้บริการได้รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูงกว่าการติดตั้งสายโทรศัพท์ นอกจากนี้อัตราค่าบริการยังถูกมาก เมื่อเทียบกับระบบโทรศัพท์แบบใช้สาย โดยการใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะ WLL ซึ่งจะเป็นไปตามมาตรฐาน ARIB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



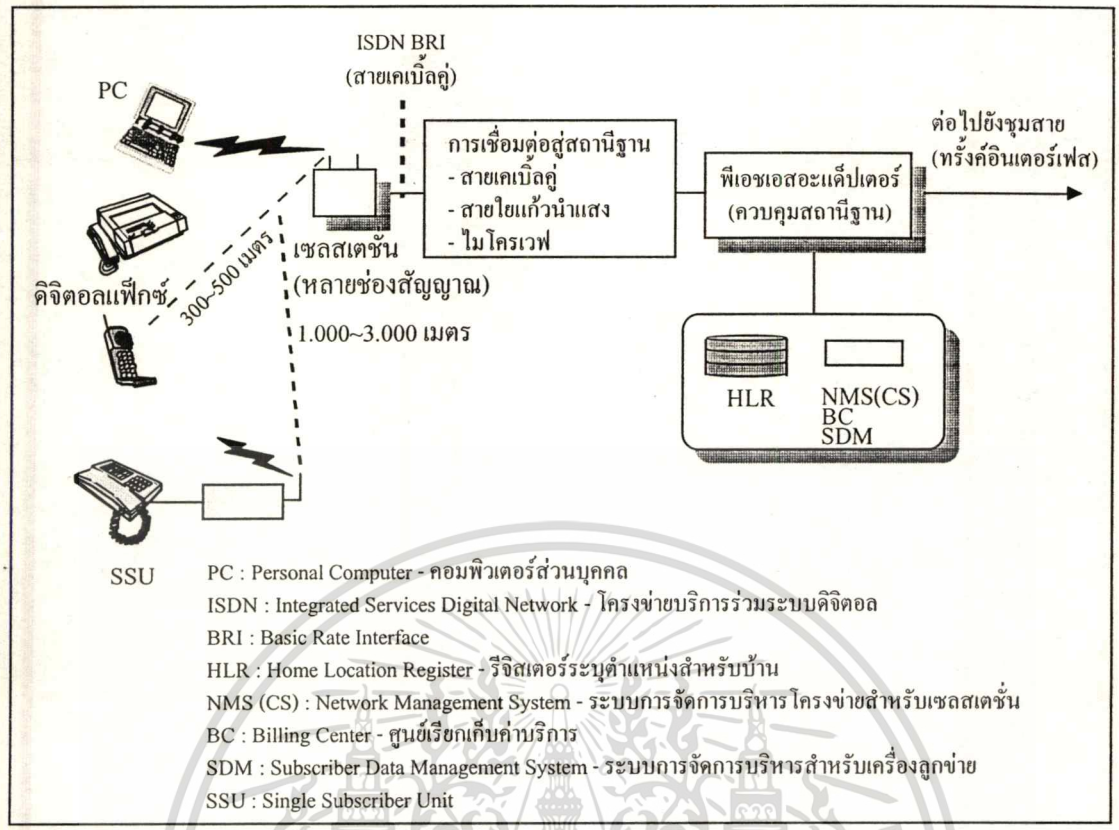
รูปที่ 2.13 การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะ WLL

ในการใช้โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ในลักษณะของ WLL มีหลักการพื้นฐาน เพื่อรองรับการบริการในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอย่างสมบูรณ์ โดยโครงสร้างพื้นฐานของระบบจะประกอบไปด้วย

- ฐานข้อมูลในการระบุตำแหน่งสำหรับบ้าน (HLR : Home Location Register) ขนาดเล็ก โดยจำกัดความเร็วในการเคลื่อนที่ขณะใช้งาน
- เซลสเตชั่นที่มีหลายช่องสัญญาณ (Multi channel)
- ระบบการจัดการบริการโครงข่ายสำหรับเซลสเตชั่นขนาดเล็ก
- ศูนย์เรียกเก็บค่าบริการ
- ระบบการจัดการข้อมูลสำหรับเครื่องโทรศัพท์

โดยในส่วนของระบบบำรุงรักษาโครงข่ายสำหรับเซลสเตชั่น ศูนย์เรียกเก็บค่าบริการ และระบบการจัดการข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์ จะเป็นบริการเสริมสำหรับผู้ใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ซึ่งโครงสร้างของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ที่มีการใช้งานในลักษณะ WLL จะแสดงดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสสำหรับการใช้งานในลักษณะ WLL

*** การประยุกต์ใช้งานภายในตัวอาคาร**

โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส สามารถใช้งานร่วมกับชุมสายปลายทางอัตโนมัติในลักษณะของเครื่องลูกข่ายแบบไร้สายดิจิตอล ซึ่งระบบโดยรวมจะประกอบไปด้วย เซลสเตชั่นเครื่องลูกข่าย และชุมสายปลายทางอัตโนมัติ โดยจะเป็นไปตามมาตรฐานของ ARIB ซึ่งเป็นมาตรฐานการอินเตอร์เฟสระหว่างเซลสเตชั่นและเครื่องลูกข่าย ในส่วนของชุมสายปลายทางอัตโนมัติจะมีการเพิ่มเติมในส่วนของฟังก์ชั่นการทำงานพิเศษ เพื่อสามารถใช้ติดต่อกับเครื่องลูกข่ายในลักษณะแบบไร้สายได้ ซึ่งข้อดีของการใช้โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสภายในอาคารก็ คือ

-ลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายโทรศัพท์ภายในสำนักงาน

-สามารถทำการติดต่อสื่อสารได้อย่างต่อเนื่องในทุกบริเวณภายในตัวอาคาร

- สามารถใช้งานในลักษณะโทรศัพท์ไร้สาย ขณะที่มีการเคลื่อนที่ภายในตัวอาคาร

- สามารถรองรับการบริการโครงข่ายและมีการเพิ่มเติมในส่วนของการให้บริการ เสริม

- สามารถติดต่อสื่อสารในระบบมัลติมีเดีย อันได้แก่ เสียง ข้อมูล ตัวอักษร หรือภาพเป็นต้น

โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส จะมีการทำงานร่วมกับชุมสายปลายทางส่วนบุคคล (PBX : Private Branch Exchange) ในส่วนของเซลสเตชั่นจะใช้มาตรฐาน RCR STD-28 เป็นมาตรฐานการอินเตอร์เฟสทางอากาศ โดยจะแบ่งออกเป็นอินเตอร์เฟส B สำหรับการอินเตอร์เฟสสายส่ง

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

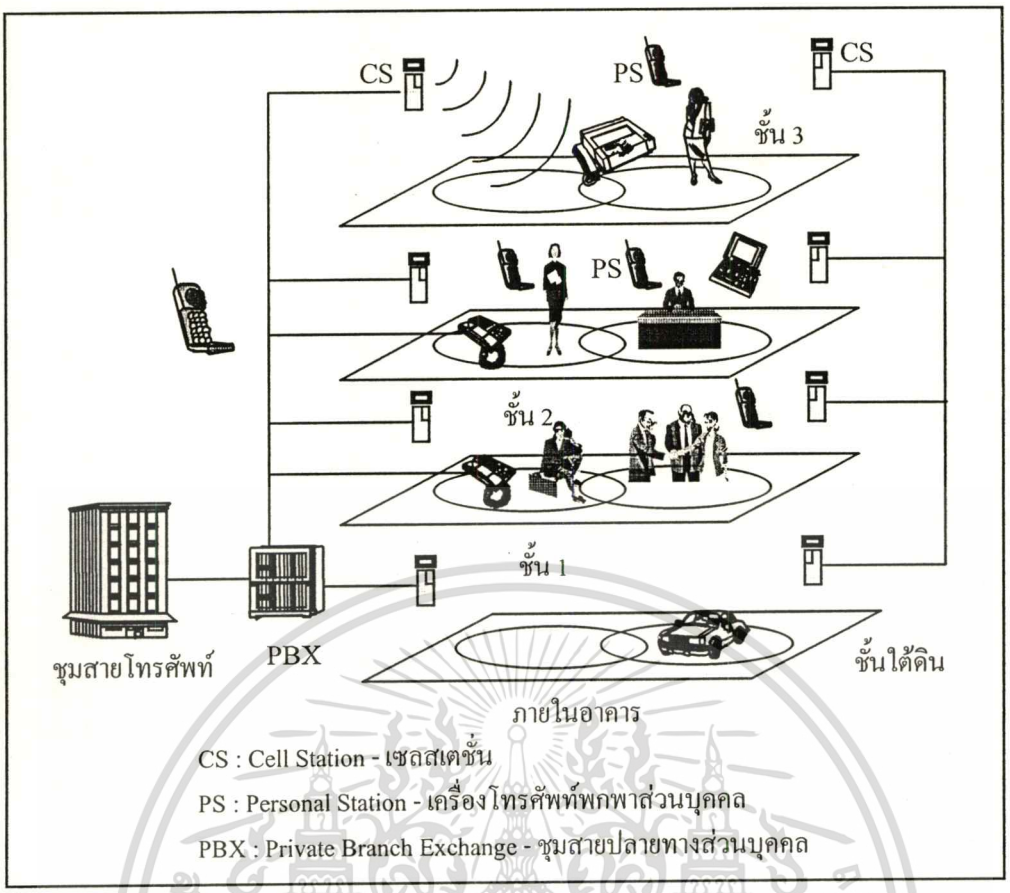
ของเครื่องลูกข่าย (Extension line) และอินเตอร์เฟส A สำหรับการอินเตอร์เฟสทางอากาศ ตารางที่ 2.4 จะแสดงมาตรฐานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	1.9 GHz
เทคนิคการทำงาน	TDMA
เทคนิคการดูเพล็กซ์	TDD
จำนวนช่องสัญญาณ	4
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	300 kHz
ชนิดการมอดูเลท	$\pi/4$-DQPSK
ความเร็วในการส่งข้อมูล	384 kbps
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM ที่อัตรา 32 kbps
การจัดสรรช่องสัญญาณ	ไดนามิก
การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	CRC
กำลังส่งเฉลี่ยของเซลสเตชั่น	500 mW หรือต่ำกว่า
กำลังส่งเฉลี่ยของเครื่องโทรศัพท์	10 mW หรือต่ำกว่า

โครงข่ายของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส จะใช้มาตรฐาน JT-Q921-b มาตรฐาน JT-Q931-b และมาตรฐาน JT-Q932-a โดยสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่างสถานีฐานกับเซริฟเวอร์จะมีรูปแบบเป็นโครงข่ายการให้บริการร่วมระบบดิจิตอล (ISDN : Integrated Service Digital Network) ที่ความเร็ว 32 kbps สำหรับเทคนิคในการเข้ารหัสสัญญาณดิจิตอลจะใช้เทคนิคในระบบของการมอดูเลทพัลซ์โค้ดแบบปรับตัวได้ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน G.711 และ G.726 ซึ่งมีสาระสำคัญเกี่ยวกับการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ในการทำงานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสจะมีช่องสัญญาณในการติดต่อ 4 ช่อง โดยใช้เทคนิคแบบ TDMA-TDD (TDMA : Time Division Multiple Access และ TDD : Time Division Duplex) จึงทำให้มีช่องสัญญาณรับและส่งอย่างละ 4 ช่อง แต่ในการทำงานจะใช้ช่องสัญญาณรับและส่ง 1 ช่องสำหรับเป็นช่องสัญญาณควบคุม ซึ่งจะเห็นได้ว่าสถานีเซล 1 ตัวจะสามารถติดต่อกับเครื่องลูกข่ายได้ 3 เครื่องในเวลาพร้อมๆกัน ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการให้บริการในระบบมัลติมีเดีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสภายในอาคาร

2.2.2.5 การเปรียบเทียบระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลดิจิตอล

ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบกับระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลแบบต่างๆ คือ ระบบ PHS (Personal Handy phone System) ระบบ DECT (Digital Europian Cordless Telephone) ระบบ PACS (Personal Advance Cordless System) และระบบ CT-2 (Cordless Telephone version 2) โดยทั้ง 4 ระบบนั้นจะเห็นว่าคุณสมบัติแบ่งแยกออกเป็น 2 กลุ่ม คือสามแบบแรกจะเป็นแบบสื่อสาร 2 ทาง แต่แบบที่ 4 จะเป็นการสื่อสารทางเดียวจึงไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร และในอนาคตก็คงหมดความนิยมไปในที่สุด ในสามแบบแรกก็ยังมีส่วนที่แตกต่างกันบ้าง เช่น ในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส และระบบ DECT จะมีวิธีการจัดสรรแถบความถี่แบบไดนามิค (Dynamic assign) ซึ่งเป็นการจัดความถี่โดยอัตโนมัติ กล่าวคือ เมื่อมีการติดตั้งเซลใหม่ผู้ติดตั้งไม่จำเป็นต้องทราบความถี่ที่มีในเซลเดิม เพียงแต่วางเซลใหม่ลงไปเท่านั้น เซลใหม่นี้จะตรวจสอบรอบๆ ว่ามีการใช้ความถี่ใดไปบ้าง แล้วเลือกความถี่ที่ยังไม่มีการใช้งานมาใช้กับเซลตนเอง วิธีการนี้ทำให้ไม่ต้องกังวลในเรื่องของการใช้ความถี่ใหม่ เช่น ระบบเซลลูล่าร์ เป็นต้น ส่วนในระบบ PACS จะเป็นระบบที่มีลักษณะคล้ายกับระบบเซลลูล่าร์ คือ มีการจัดสรรความถี่แบบตายตัว ผู้วางโครงข่ายจำเป็นที่จะต้องบริหารความถี่ไม่ให้มีการรบกวนเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเทคนิคการเลือกช่องสัญญาณก็จะแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกัน คือแบบที่ 1 ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสและระบบ DECT จะใช้เทคนิคที่เรียกว่า TDMA-TDD (Time Division Multiple Access - Time Division Duplex) เทคนิคของ TDMA-TDD นี้ช่องการสื่อสารจะใช้ความถี่เดียวทั้งรับและส่ง แต่จะแยกสัญญาณรับและส่งออกกันด้วยช่องเวลา ดังนั้นในระบบนี้จึงประหยัดช่องความถี่มากกว่าระบบอื่นๆ ส่วนอีกแบบหนึ่ง คือการจัดช่องความถี่ในแบบ TDMA ที่ใช้ในระบบ PACS ที่จะใช้การจับช่องสัญญาณในแบบช่องความถี่ 2 ช่องพร้อมกัน สำหรับช่องความถี่ทางด้านรับและความถี่ทางด้านส่ง ในระบบนี้จึงจำเป็นที่จะต้องใช้แถบความถี่ 2 แถบ คือ แถบทางด้านรับและแถบทางด้านส่ง เช่นเดียวกับระบบเซลลูล่าร์ทั่วๆ ไป การใช้ความถี่ในระบบนี้จึงมีประสิทธิภาพด้อยกว่าในระบบแรก

ในเรื่องของกำลังส่งในระบบการสื่อสารส่วนบุคคลนั้น จะกำหนดให้มีกำลังส่งต่ำมาก โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 มิลลิวัตต์เท่านั้น ดังนั้นรัศมีทำการในระบบสื่อสารส่วนบุคคลจะประมาณ 500 เมตร ซึ่งการกำหนดคุณสมบัติเหล่านี้จะปลอดภัยต่อผู้ที่ใช้งาน และเครื่องให้บริการนั้นจะสามารถพัฒนาให้มีขนาดเล็กและราคาถูกลงได้ แม้การครอบคลุมพื้นที่จะมีปัญหาในบางพื้นที่ที่ไม่สามารถครอบคลุมได้เช่นเดียวกับระบบเซลลูล่าร์ แต่ก็สามารถแก้จุดบอดเหล่านั้น โดยวิธีการวางเซลเพิ่มเติมเข้าไปอีก

อีกเทคนิคหนึ่งที่เป็นเทคนิคใหม่ในการสื่อสารส่วนบุคคล ก็คือ การนำเอาระบบเข้ารหัสแบบ ADPCM (Adaptive Difference Pulse Code Modulator) ที่มีความเร็วของสัญญาณเท่ากับ 32 kbps ซึ่งทำให้สามารถบรรจุช่องการสื่อสารได้มากกว่าระบบ PCM ถึง 2 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที

3.1 บทนำ

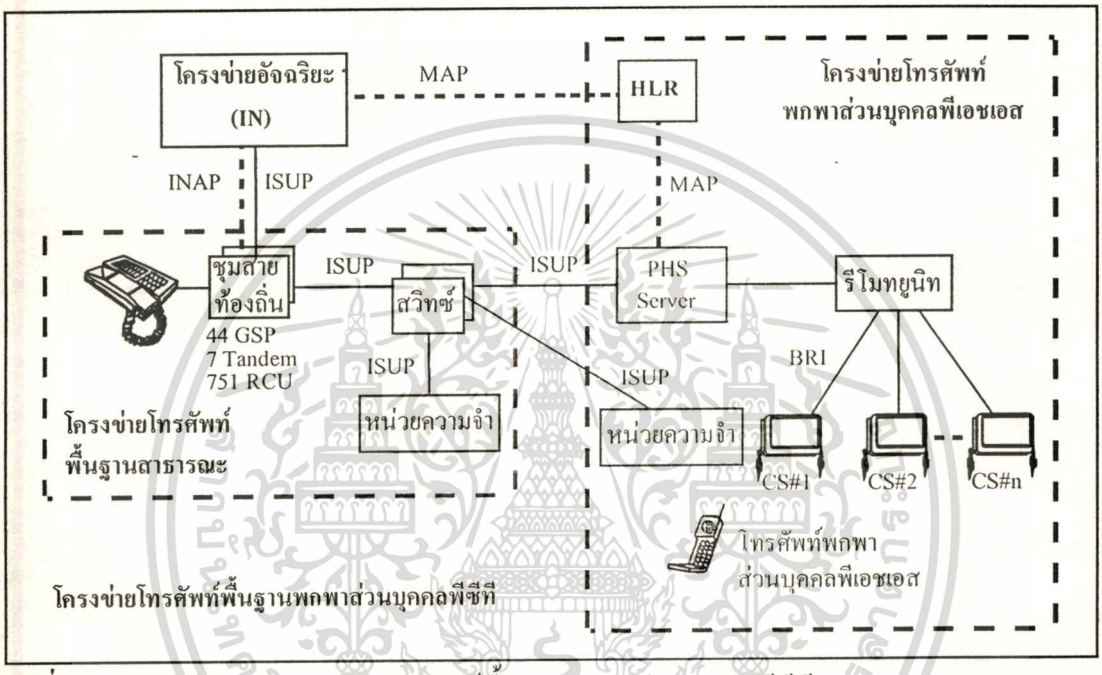
ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที เป็นระบบที่พัฒนามาจากระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (TOT : Telephone Organization of Thailand) และบริษัท เทเลคอมเอเซีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ได้นำมาใช้งานในประเทศไทยในปี 1997 โดยการนำหมายเลขโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่มีอยู่เดิม มาให้บริการเสริมในลักษณะของการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล ที่ผู้ใช้บริการสามารถใช้งานเครื่องลูกข่าย (PS : Personal Station) ซึ่งเป็นเลขหมายเดียวกับโทรศัพท์พื้นฐานที่บ้านได้ในที่ต่างๆไม่ว่าจะเป็นที่บ้านหรือนอกบ้าน หรือแม้กระทั่งในรถยนต์ที่มีความเร็วไม่เกิน 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในการใช้บริการนี้ ผู้เรียกสามารถโทรเข้าหา ผู้ใช้บริการโดยการกดหมายเลขบ้านแล้วระบบสามารถจะต่อไปที่เครื่องโทรศัพท์ที่บ้าน หรือต่อไปยังเครื่องลูกข่ายได้

3.2 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลจะประกอบไปด้วย 3 โครงข่าย คือ โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ ซึ่งเป็นโครงข่ายที่มีอยู่เดิมในประเทศไทย (โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน) เนื่องจากสังคมไทยทั้งผู้หญิงและผู้ชายต้องออกไปทำงานนอกบ้าน ดังนั้นโทรศัพท์บ้านจึงไม่ได้ใช้ประโยชน์ เมื่อมีการหมายเลขโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเดียวกับหมายเลขโทรศัพท์บ้านจะทำให้หมายเลขของโทรศัพท์บ้านได้ใช้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น นับได้ว่าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้โครงข่ายที่มีอยู่เดิม นอกจากนี้ยังเป็นประหยัดเลขหมายโทรศัพท์ได้อีกประการหนึ่ง โครงข่ายที่สองคือ โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยโครงข่ายอัจฉริยะจะเป็นโครงข่ายที่ใช้โครงข่ายคอมพิวเตอร์และระบบซอฟท์แวร์เข้ามาช่วยจัดการสำหรับการให้บริการเสริมที่เพิ่มเติมจากบริการหลักของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานหรือโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เช่น การให้บริการเบอร์โทรฟรี (Free phone service) บริการโทรศัพท์ใช้การ์ด (Card calling service) หรือการให้บริการเรียกเก็บเงินในอัตราพิเศษ (Premium rate service) เป็นต้น สำหรับการนำโครงข่ายอัจฉริยะมาใช้ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะให้บริการในรูปแบบของบริการหมายเลขเดียว (One number service) ทำให้เลขหมายของตัวโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลขเดียวกับเครื่องโทรศัพท์บ้าน ส่วนของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอสเอชก็ได้นำมาปรับปรุงใช้ โดยทำการขยายขนาดพื้นที่ครอบคลุมของเซลให้กว้างขึ้น เพื่อประโยชน์ในการติดต่อสื่อสารภายในยานพาหนะที่มีความเร็วสูงขึ้นจนถึง 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วปกติบนท้องถนนของประเทศไทย นอกจากนี้ยังได้มีการใช้เทคนิคการแบ่งช่องสัญญาณ 2 ช่องมาร่วมกันระหว่างเซลข้างเคียงเมื่อเซลใดเซลหนึ่งมีช่องสัญญาณเต็ม ซึ่งเป็นการลดปริมาณการเกิดทราฟฟิคและลดจำนวนครั้งของการข้ามเซลหรือที่เรียกว่าแฮนด์โอเวอร์ (Hand over) ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการเงียบหายของสัญญาณ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

3.2.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN : Public Switched Telephone Network)

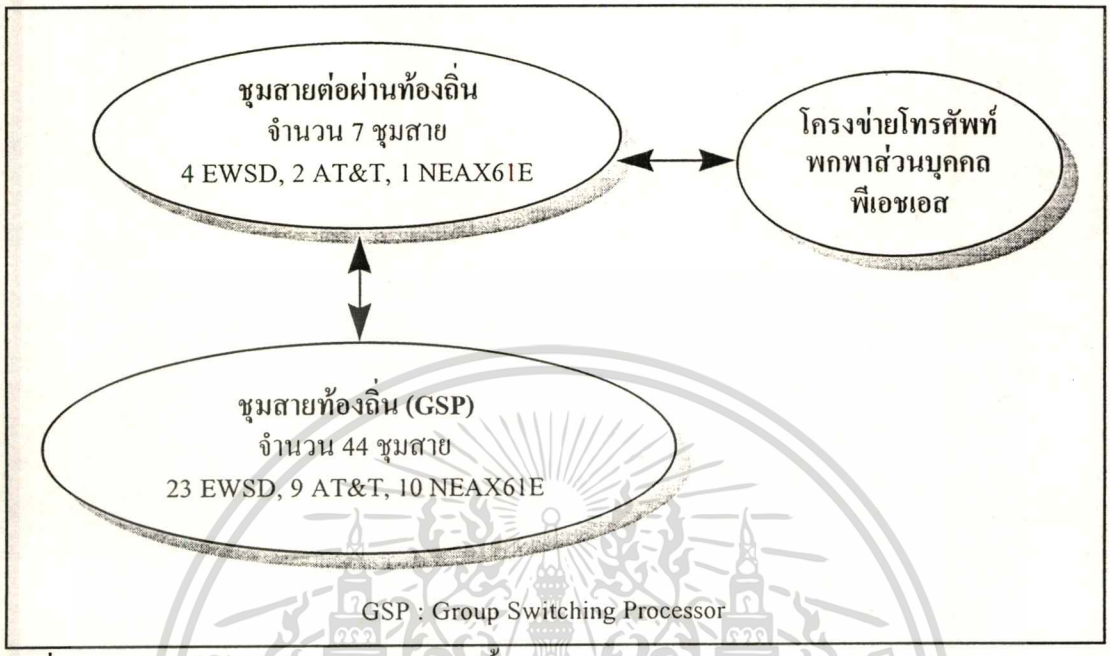
โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะจะเป็นการใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์โทรศัพท์พื้นฐานเดิมของบริษัท เทเลคอมเอเซีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่มีการให้บริการอยู่แล้ว โดยประกอบไปด้วยชุมสายโทรศัพท์ 2 ระดับ คือ

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

2 ชุมสายต่อผ่านท้องถิ่น (Transit Exchange หรือ Tandem Exchange) ซึ่งประกอบด้วยชุมสายของ EWSD (Siemens) 4 ชุมสาย ชุมสายของ AT&T (Lucent) 2 ชุมสายและชุมสายของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NEAX61E(NEC) 1 ชุมสาย โดยชุมสายท้องถิ่นทั้ง 44 ชุมสายจะติดต่อกับชุมสายต่อผ่านท้องถิ่นทั้งหมด (Mesh connection)

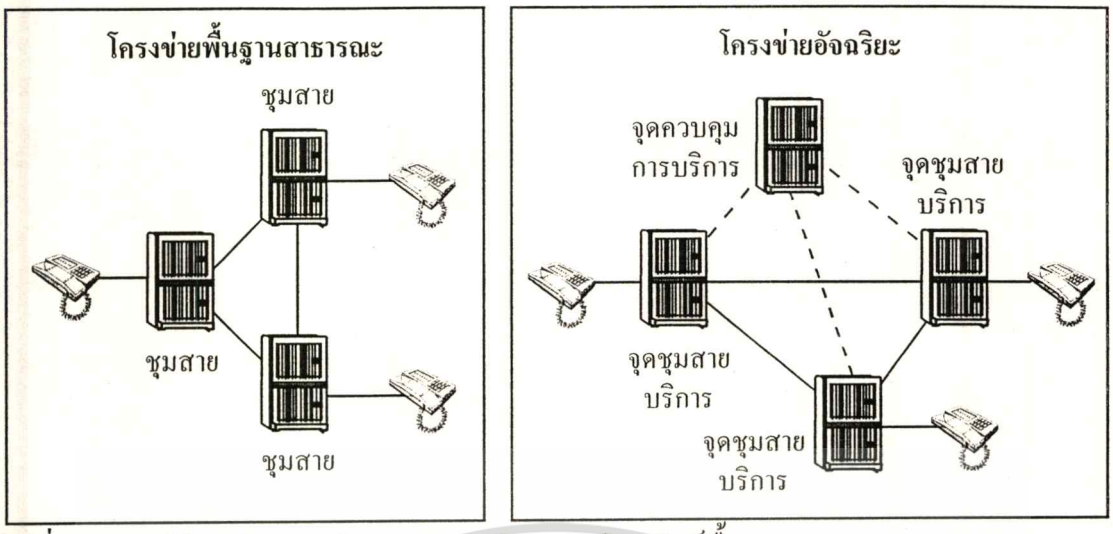


รูปที่ 3.2 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

3.2.2 โครงข่ายอัจฉริยะ (IN : Intelligent Network)

โครงข่ายอัจฉริยะ หมายถึง ระบบที่เพิ่มเติมเข้าไปในโครงข่าย ซึ่งอาจจะเป็นโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ โครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิตอล (ISDN : Integrated Services Digital Network) หรือโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Network) เพื่อเพิ่มความสามารถของโครงข่ายในด้านต่าง เช่น การให้บริการรูปแบบใหม่ หรือการให้บริการเสริมกับโครงข่าย ซึ่งกระทำโดยการต่อร่วมระบบคอมพิวเตอร์เข้ากับโครงข่ายและทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการเสริม โดยเป็นการแยกฟังก์ชั่นในการควบคุมการเรียก (Call control function) ออกจากฟังก์ชั่นของการให้บริการ (Service control function) ส่งผลให้ผู้ให้บริการโครงข่ายสามารถที่จะพัฒนาโครงข่าย เพื่อให้บริการได้อย่างรวดเร็ว ตัวอย่างการบริการที่ใช้โครงข่ายอัจฉริยะ ได้แก่ การบริการโทรศัพท์ฟรี (Free Phone)ในระบบอินเตอร์เน็ต การบริการการสื่อสารส่วนบุคคล (Personal Communication Service) การบริการการเรียกโดยใช้บัตร (Card Calling Service) การบริการด้วยอัตราพิเศษ (Premium Rate Service) และการบริการเลขหมายเดียว (One Number service) ซึ่งเป็นบริการเสริมที่ใช้ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การเปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะธรรมดา กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่ทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะ

ในรูปที่ 3.3 จะแสดงการบริการโครงข่ายอัจฉริยะบนโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ โดยส่วนของจุดชุมสายบริการจะทำหน้าที่รวบรวมเลขหมายจนครบ ถ้าผู้เรียกต้องการใช้บริการของโครงข่ายอัจฉริยะ จุดชุมสายบริการก็จะส่งเลขหมายไปที่จุดควบคุมการบริการซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ของโครงข่ายอัจฉริยะที่แยกออกต่างหากจากระบบเครื่องชุมสาย โดยจุดควบคุมการบริการจะทำหน้าที่เลือกเส้นทางและหาตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย หลังจากนั้นจึงสั่งให้อุปกรณ์ชุมสายทำการสร้างเส้นทางในการเรียกไปยังปลายทางที่ต้องการต่อไป

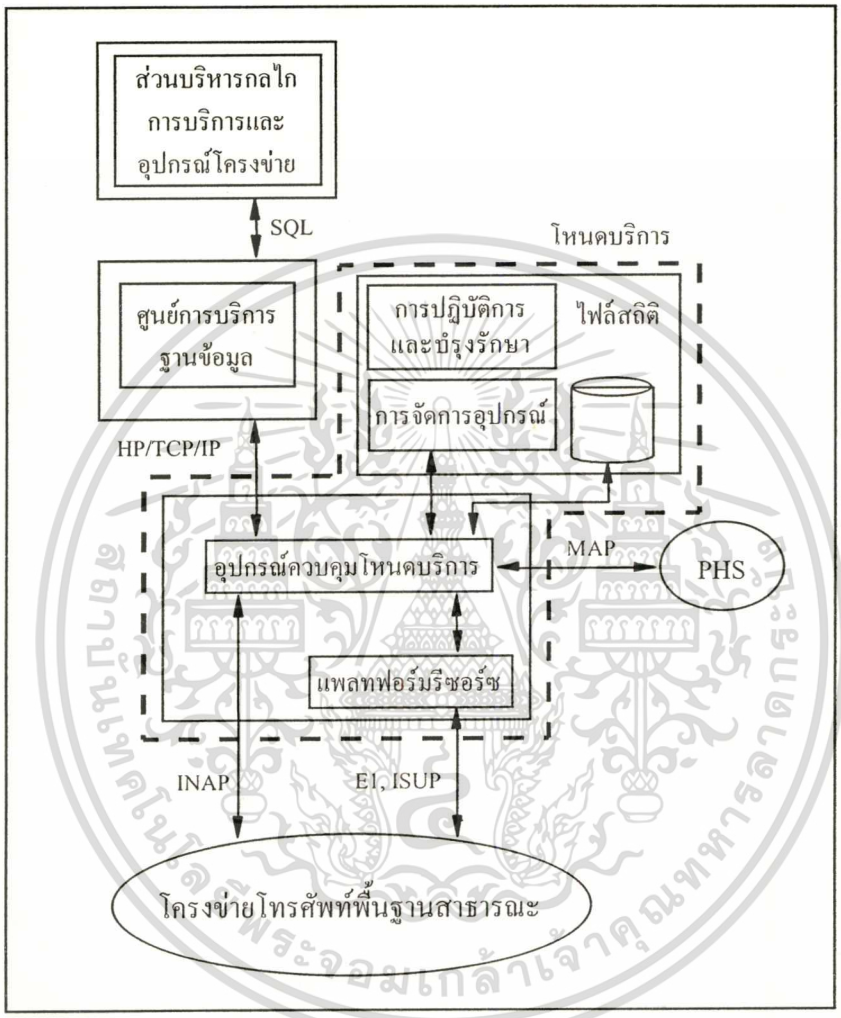
3.2.2.1 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายอัจฉริยะ

โครงข่ายอัจฉริยะจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนของโหนดบริการ ซึ่งเป็นกลุ่มของชุมสายท้องถิ่น โดยโหนดบริการมีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของชุมสายท้องถิ่น 7 ชุมสาย ส่วนที่สอง คือ ระบบการจัดการการบริการ (SMS : Service Management System หรือ SDS : Service Data Server) ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลของผู้ใช้บริการ และข้อมูลที่เกี่ยวกับการเรียกใช้บริการ และส่วนสุดท้าย คือ ส่วนบริหารกลไกการบริการและอุปกรณ์ของโครงข่าย จะทำหน้าที่ในการป้อนข้อมูลที่จำเป็นเข้าไปยังระบบการจัดการการบริการ โดยใช้กลไกของชุมสายต่อผ่าน (MST : Mechanized Switch Transfer) โดยสถาปัตยกรรมของโครงข่ายอัจฉริยะจะแสดงในรูปที่ 3.4

ในรูปที่ 3.5 จะแสดงส่วนฮาร์ดแวร์ของโครงข่ายอัจฉริยะ ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญๆก็คือ ส่วนของโหนดบริการ โดยมีส่วนควบคุมโหนดบริการ (SNC : Service Node Controller) เป็นส่วนประกอบหลัก และจะมีการเชื่อมต่อผ่านทางสองคู่สายของระบบ LAN (LAN : Local Access Network) และมีการเชื่อมต่อกับระบบต่างๆ อันได้แก่ เทอร์มินอล OAM คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC : Personal Computer) ระบบการจัดการการบริการ และส่วนของแพลทฟอร์มการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริการโครงข่าย (NSP-5000 : Network Service Platform 5000) ซึ่งทำหน้าที่ในการส่งเสียงตอบรับไปยังปลายทาง (Announcement Playback) รับสัญญาณเลขหมายของโทรศัพท์ (DTMF : Dual Tone Multi Frequency) ในกรณีที่เป็นโทรศัพท์แบบกดปุ่ม หรือพัลซ์ในกรณีที่เป็นเครื่องโทรศัพท์แบบหมุน และทำหน้าที่ในการอัดสัญญาณเสียง

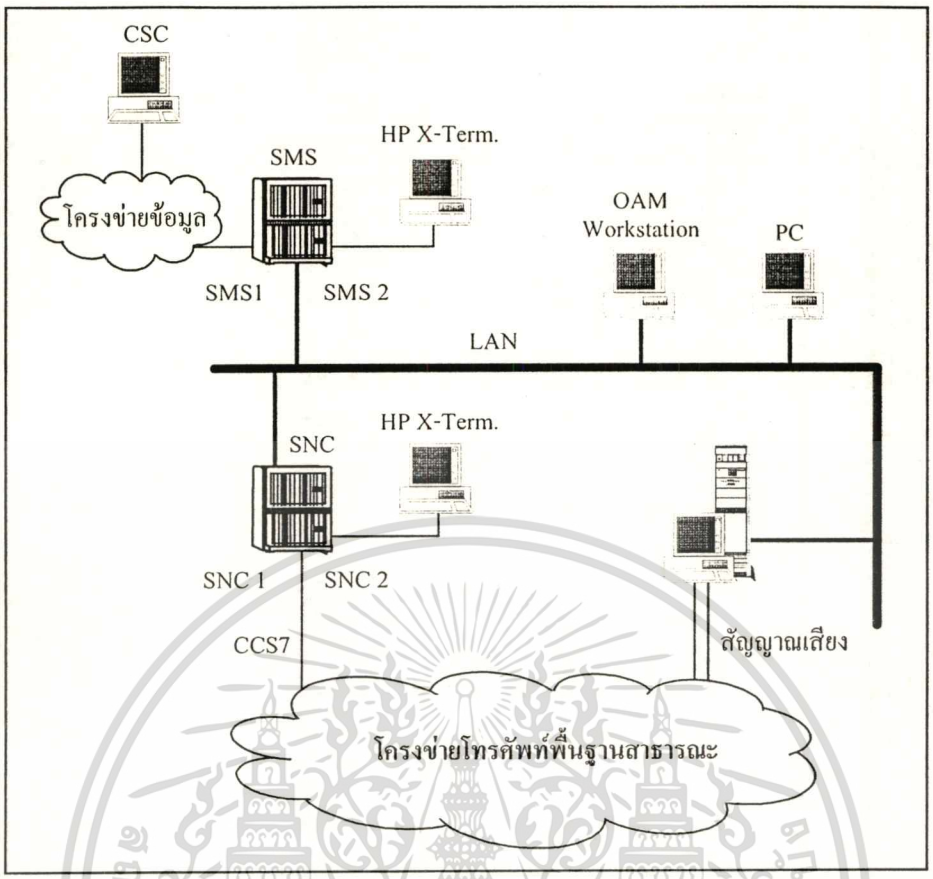


รูปที่ 3.4 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายอัจฉริยะ

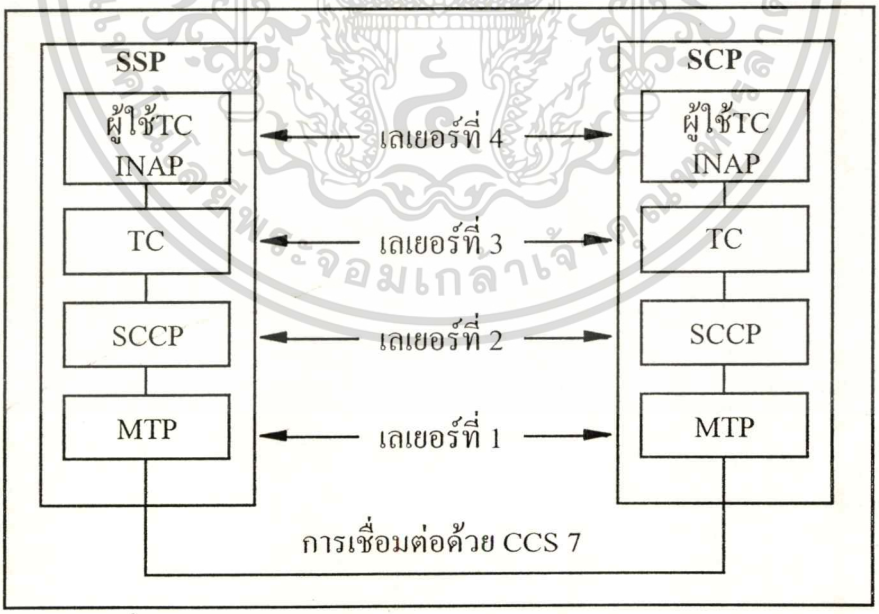
3.2.2.2 โปรโตคอลที่ใช้ในโครงข่ายอัจฉริยะ

ในการบริการของโครงข่ายอัจฉริยะนั้น จะต้องมีการติดต่อระหว่างชุมสายกับโหนดบริการตลอดเวลา ซึ่งก็คือมีการติดต่อระหว่างจุดชุมสายบริการกับจุดควบคุมการบริการ โดยใช้โปรโตคอล ระบบสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 (CCS7 : Common Channel Signaling System No. 7) สำหรับการส่งสัญญาณระหว่างจุดชุมสายบริการและจุดควบคุมการบริการ ดังแสดงในรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ลักษณะทางฮาร์ดแวร์ของโครงข่ายอัจฉริยะ



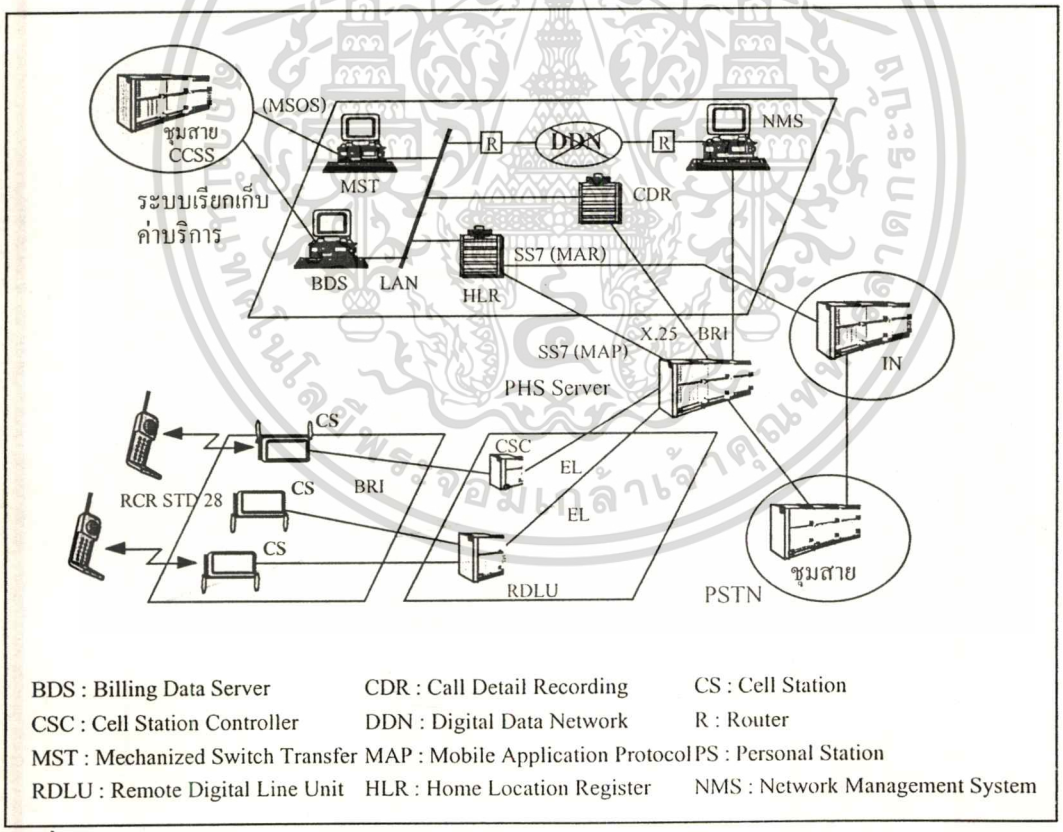
รูปที่ 3.6 โปรโตคอลที่ใช้ระหว่างจุดชุมสายบริการและจุดควบคุมการบริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

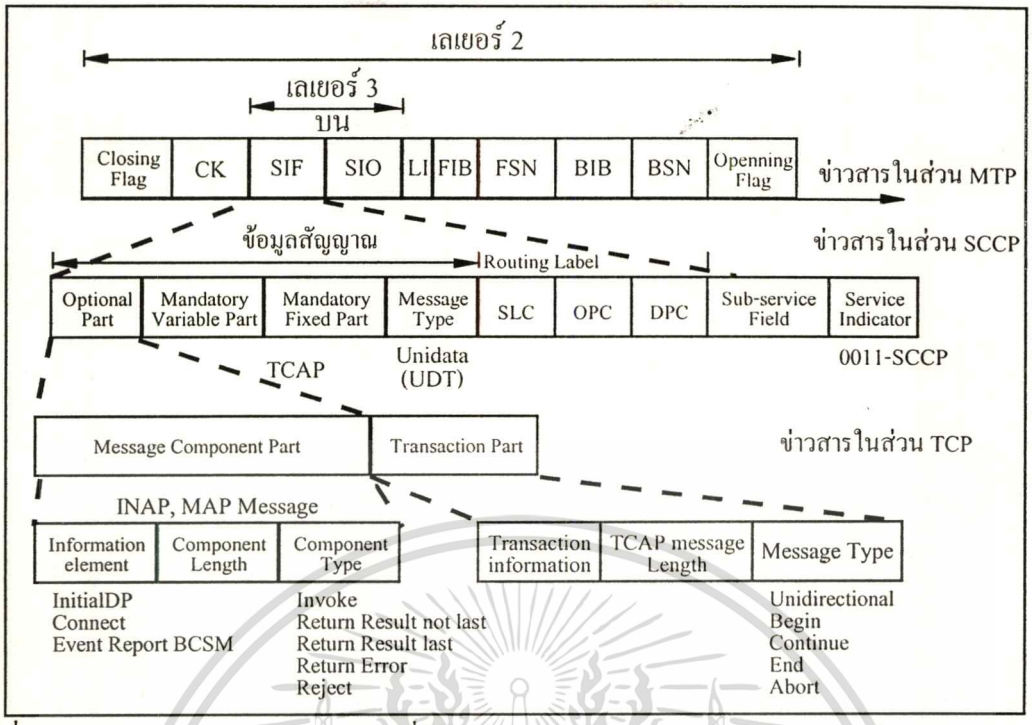
โครงข่ายของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส จะประกอบไปด้วย 3 เลเยอร์ด้วยกัน อันได้แก่

1. เลเยอร์อัจฉริยะ (Intelligent Layer) อุปกรณ์นี้จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่รองรับการทำงานในเลเยอร์การติดต่อ (Transport Layer) ซึ่งประกอบด้วยระบบต่างๆ คือ ส่วนของรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง (HLR : Home Location Register) คือ คอมพิวเตอร์ที่มีฐานข้อมูลที่เก็บรายละเอียดของตำแหน่งประจำตัวของผู้ใช้บริการ ส่วนที่ 2 คือ ระบบบันทึกรายละเอียดของการเรียก (CDR : Call Detail Recording system) คือระบบที่บันทึกค่าบริการของการเรียกของเครื่องลูกข่ายและทำการออกบิลเรียกเก็บค่าบริการ ส่วนที่ 3 คือ ระบบการจัดการโครงข่าย (NMS : Network Management System) คือระบบที่ใช้สำหรับเฝ้าดู ตรวจสอบ ทดสอบ บำรุงรักษา วินิจฉัยเหตุเสียในส่วนของเซลสเตชั่น (CS : Cell Station) ส่วนที่ 4 คือ ระบบเรียกเก็บค่าบริการ (BC : Billing Center) เป็นส่วนที่ไม่มีการใช้งานในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที



รูปที่ 3.7 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 ลักษณะเฟรมของโปรโตคอลที่ใช้ระหว่างจุดชุมสายบริการและจุดการบริการ

2. เลเยอร์การติดต่อ (Transport Layer) คือส่วนของที่มีหน้าที่สวิทช์ ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนของ PHS server และหน่วยข่ายสายดิจิตอลระยะไกล (RDLU : Remote Digital Line Unit)

3. เลเยอร์ปฏิบัติการ (Access Layer) คือส่วนปฏิบัติงาน หรือส่วนการทำงานที่ผู้ใช้บริการใช้ในการติดต่อ โดยอุปกรณ์ในเลเยอร์นี้จะประกอบด้วยเซลสเตชั่น โดยผู้ใช้บริการสามารถติดต่อกับเซลสเตชั่นได้โดยผ่านอากาศ

โดยอุปกรณ์ของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสที่ประเทศไทย ได้มีการนำมาใช้งานในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีได้แก่

3.2.3.1 PCT server

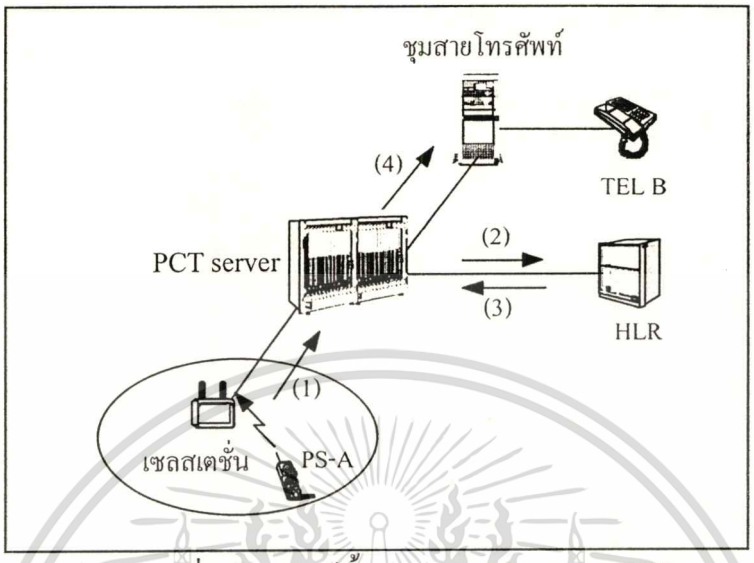
PCT server หรือ PHS server คือ อุปกรณ์ชุมสาย ที่มีการทำงานในลักษณะเดียวกับชุมสายท้องถิ่น โดยใช้PCT server ของ NEC ในตระกูล "NEAX61" ซึ่งก็เป็นอุปกรณ์ชุมสายในตระกูลเดียวกับชุมสายของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะเดิมที่มีอยู่เดิม โดย PCT server จะมีหน้าที่ดังนี้

1. สร้างเส้นทางเชื่อมต่อไปยังชุมสายปลายทางเมื่อเริ่มต้นการเรียก

เมื่อมีการเรียกจากเครื่องลูกข่ายมาที่ PCT server ส่วนของ PCT server จะสัญญาณ (Request) ไปยังรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง เพื่อขอข้อมูลของผู้ใช้บริการและตรวจสอบข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูลการลงทะเบียนของผู้ใช้บริการ ถ้ามีการลงทะเบียนเป็นผู้ใช้บริการที่ถูกต้อง ก็จะทำการสร้างเส้นทางในการเรียกไปยังชุมสายปลายทางที่ต้องการติดต่อ



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการเรียกจากเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีที

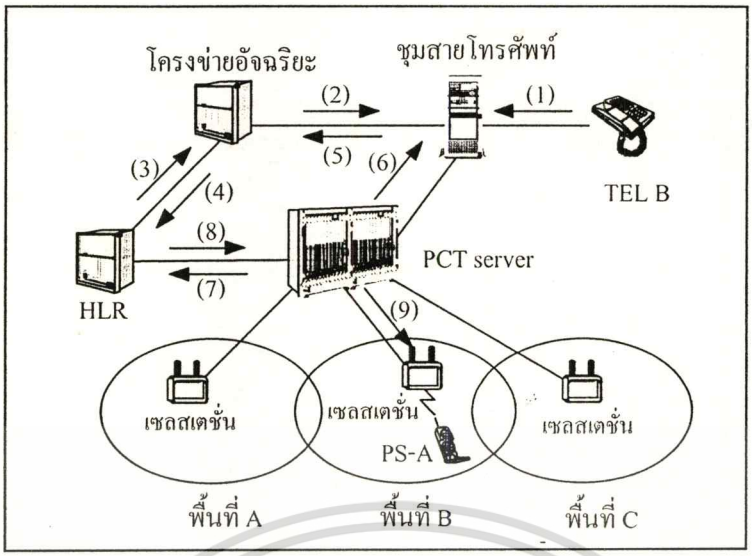
2. การสร้างเส้นทางในการเรียกไปยังเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีที

เมื่อมีการเรียกมายังผู้ใช้บริการ PCT server จะส่งสัญญาณ (Request) ไปยังรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง (HLR) เพื่อขอข้อมูลของเครื่องลูกข่ายและตรวจสอบความถูกต้องของผู้ใช้ ถ้าถูกต้อง รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งก็จะส่งข้อมูลของตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันของตัวเครื่องไปยัง PCT server เมื่อทราบข้อมูลของตำแหน่งปัจจุบันที่ถูกต้องแล้ว PCT server ก็จะส่งสัญญาณเรียก (Page) ไปที่เครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้นๆตามข้อมูลที่ได้รับมา

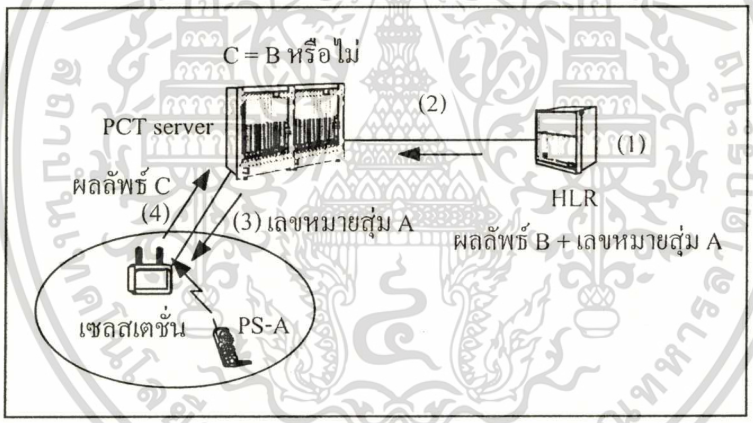
3. การตรวจสอบความถูกต้องของผู้ใช้บริการ

ส่วนของรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งจะทำการค้นหารหัสการตรวจสอบและสร้างเลขหมายแบบสุ่มมาจำนวนหนึ่ง โดยคำนวณจากรหัสตรวจสอบของผู้ใช้บริการ จากนั้นรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งจะส่งเลขหมายสุ่มจำนวนนั้นและผลการคำนวณ (B) ไปยัง PCT server เพื่อเก็บผลการคำนวณของเลขหมายสุ่มจำนวนนั้นไว้ ในขณะเดียวกันก็จะส่งเลขหมายสุ่มชุดเดิมไปยังเครื่องลูกข่าย เพื่อให้เครื่องลูกข่ายทำการคำนวณ และส่งผลลัพธ์ (C) กลับมายัง PCT server ในกรณีที่ผลลัพธ์ที่ได้ทั้งสองค่า (B และ C) เท่ากัน ระบบก็จะยอมให้กระบวนการอื่นดำเนินต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการเรียกจากเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะไปยังโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

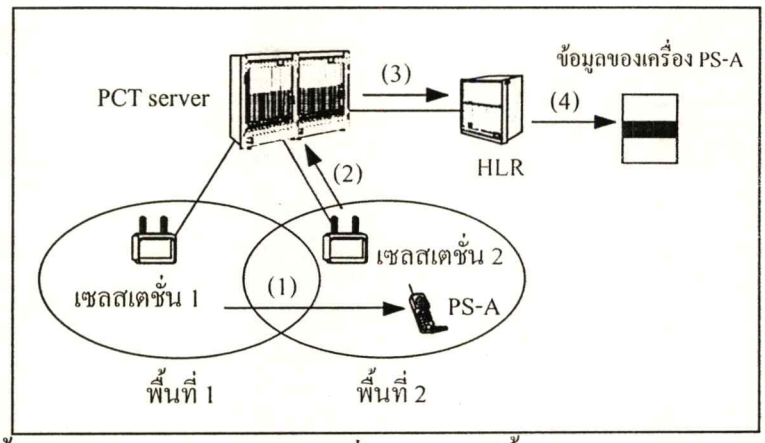


รูปที่ 3.11 กระบวนตรวจสอบความถูกต้องของผู้ใช้บริการ

4. การระบุตำแหน่งปัจจุบันของเครื่องลูกข่าย

เมื่อเครื่องลูกข่ายมีการเคลื่อนที่จากเซลสเตชั่นในพื้นที่ 1 ไปยังพื้นที่ 2 เครื่องลูกข่ายจะส่งสัญญาณไปยังเซลสเตชั่น เพื่อให้ระบบรับทราบการย้ายตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย PCT server จะตรวจสอบความถูกต้องของผู้ใช้บริการถ้าเป็นผู้ใช้บริการที่มีการจดทะเบียนที่ถูกต้องกับผู้ให้บริการ PCT server ทำการส่งข้อมูลของตำแหน่งและเลขหมายของเครื่องลูกข่ายไปเก็บไว้ที่รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่ง

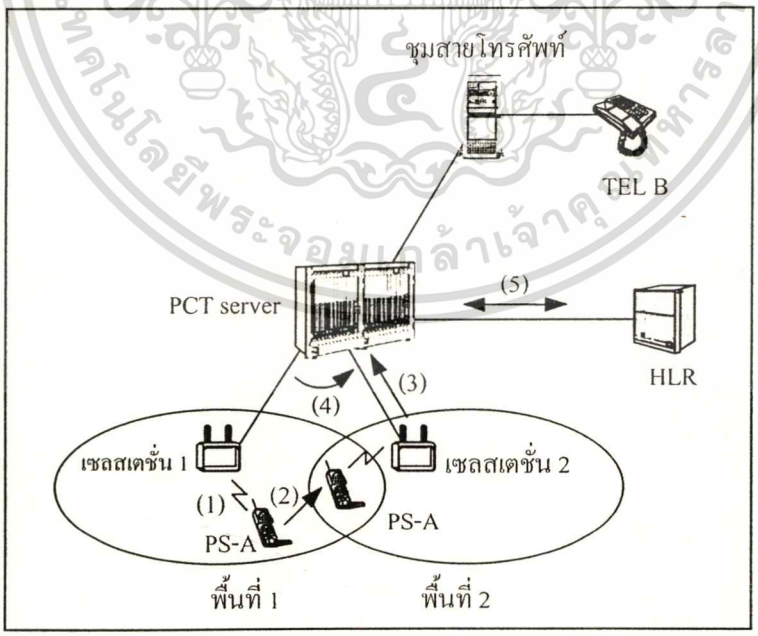
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการระบุตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

5. การแฮนด์โอเวอร์

การแฮนด์โอเวอร์ คือ การพยายามให้ผู้ใช้บริการได้ใช้ช่องสัญญาณที่ดีที่สุดและสามารถทำการติดต่อเป็นไปอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าผู้ใช้บริการจะมีการเคลื่อนที่จากเซลหนึ่งไปยังเซลอื่นๆ เมื่อเครื่องลูกข่ายมีการเคลื่อนที่จากเซลเดิมไปยังเซลใหม่ก็จะส่งสัญญาณผ่านเซลสเตชั่นเดิมไปยัง PCT server เพื่อระบุตำแหน่งใหม่ของตัวเครื่อง และส่วนของเซลสเตชั่นใหม่จะตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องลูกข่าย โดยอาศัยฐานข้อมูลใน PCT server และทำการยืนยันตำแหน่งใหม่ของเครื่องลูกข่าย ในกรณีที่มีการจดทะเบียนกับผู้ให้บริการอย่างถูกต้อง

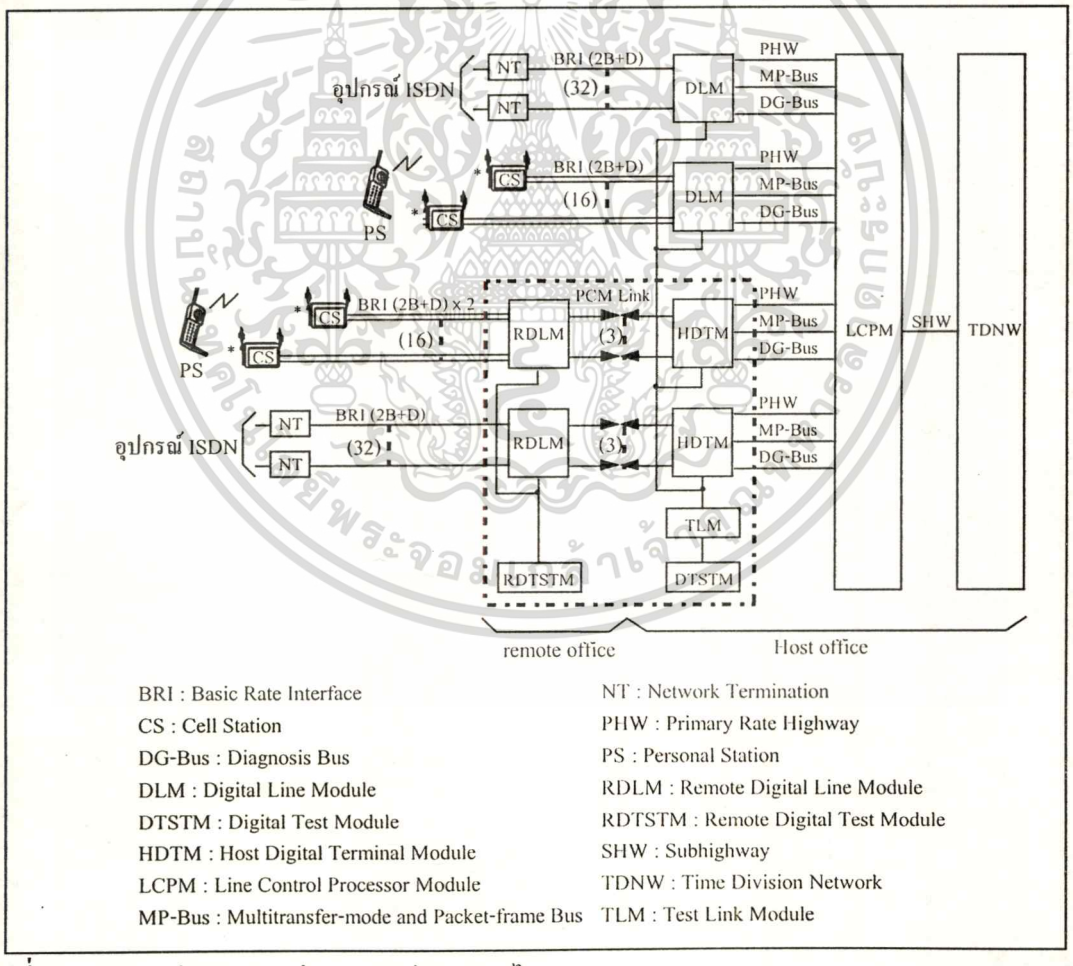


รูปที่ 3.13 ลำดับขั้นตอนของการแฮนด์โอเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.2 ชุมสายย่อยระยะไกล (RDLU : Remote Digital Line Unit)

ระบบชุมสายของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ จะประกอบไปด้วยชุมสายหลัก คือ ชุมสายท้องถิ่นซึ่งเป็นชุมสายขนาดใหญ่และส่วนของชุมสายย่อยหรือชุมสายระยะไกลซึ่งเป็นชุมสายขนาดเล็ก ที่ถูกควบคุมโดยชุมสายท้องถิ่น โดยชุมสายระยะไกล จะมีการติดตั้งอยู่ภายในอาคารขนาดเล็ก กระจายอยู่ทั่วเขตพื้นที่ให้บริการ และจะมีการต่อสายจากชุมสายระยะไกลไปยังที่พักอาศัยของผู้ใช้บริการ สำหรับระบบชุมสายของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับระบบชุมสายของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ นั่นก็คือ จะประกอบด้วยชุมสายหลัก และชุมสายย่อย โดยอุปกรณ์ชุมสายของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคลพีซีที ที่ติดตั้งในชุมสายย่อยนั้น จะเรียกว่า อุปกรณ์ชุมสายดิจิตอลระยะไกล หรือ RDLU (Remote Digital Line Unit) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ PCT server ซึ่งสามารถแยกส่วนที่มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายสายตอนนอกไปตั้งไว้ในระยะทางไกลๆได้โดยใช้สายเคเบิ้ลใยแก้วในการส่งสัญญาณติดต่อที่อัตรา 2.048 Mbps



รูปที่ 3.14 ตำแหน่งและการต่อชุมสายย่อยระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.3 รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง (HLR : Home Location Register)

รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งประจำเครื่อง จะเป็นระบบคอมพิวเตอร์ ที่ทำหน้าที่เสมือนเป็นฐานข้อมูลของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที โดยมีหน้าที่ต่างๆดังนี้

1.บอกตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (Subscriber Location) เมื่อเครื่องลูกข่ายมีการเคลื่อนที่ โดยตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายจะถูกส่งไปยังรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่ง เพื่อทำการอัพเดทตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย

2.กำหนดบริการที่ผู้ใช้บริการต้องการ

3.ส่งข้อมูลต่างๆของผู้ใช้บริการไปยังส่วนของ PCT server เมื่อมีการเรียกเข้าหรือเรียกออก พร้อมทั้งทำการตรวจสอบความถูกต้องของผู้ใช้บริการ

4.ทำการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องลูกข่าย ว่าเป็นเครื่องที่ได้รับอนุญาติอย่างถูกต้องจากผู้ให้บริการหรือไม่ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำเป็นที่จะต้องกระทำทุกครั้งก่อนที่จะให้มีการใช้บริการ

3.2.3.4 ระบบบันทึกรายละเอียดของการเรียก (CDR : Call Detail Recording System)

ระบบบันทึกรายละเอียดของการเรียกของผู้ใช้บริการ ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีใช้ระบบยูนิกซ์ที่มีหน่วยความจำในการเก็บข้อมูลขนาดความจุสูง ที่เรียกว่า "ดิสก์อาเรย์" โดยระบบนี้จะทำหน้าที่ในการรวบรวมบันทึกการเรียก (PCT server จะส่งข้อมูลในการเรียกมายังระบบโดยใช้โปรโตคอล X.25) จัดการบันทึกการเรียกในรูปแบบของไฟล์เรียกเก็บเงินค่าบริการ และการให้บริการเสริมเมื่อผู้ใช้บริการต้องการ

3.2.3.5 ระบบการจัดการโครงข่าย (NMS : Network Management System)

ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้น ส่วนของเซลสเตชั่นเป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทอย่างสูง ในการบ่งบอกถึงระดับคุณภาพของการบริการ เนื่องจากในการใช้บริการใดๆจากโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะต้องทำการติดต่อผ่านเซลสเตชั่นทุกครั้ง ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นจึงต้องมีระบบการจัดการโครงข่ายสำหรับเซลสเตชั่นในการทำหน้าที่จัดการบริหารโครงข่าย และบำรุงรักษาให้เซลสเตชั่นมีความสมบูรณ์ในการใช้งานให้มากที่สุด โดยระบบการจัดการโครงข่าย จะมีหน้าที่ดังต่อไปนี้

1.เฝ้าดูการทำงานของเซลสเตชั่นและส่วนของระบบการจัดการโครงข่าย เช่น การตรวจสอบสถานะของส่วนต่างๆของเซลสเตชั่นว่ามีความผิดพลาดหรือไม่

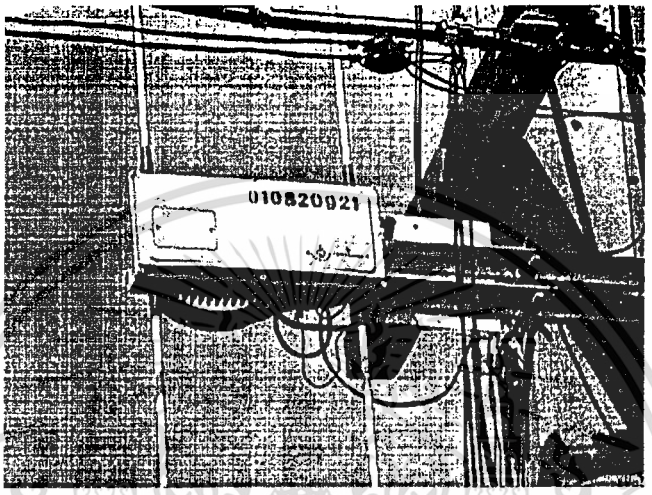
2.ควบคุมการทำงานเซลสเตชั่น เช่น การบล็อค การจำกัดการเรียกระหว่างช่องสัญญาณ

3.การดาวน์โหลด และอัพโหลดโปรแกรม และค่าพารามิเตอร์ต่างๆลงในเซลสเตชั่น เมื่อมีการติดตั้งเซลสเตชั่นใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.6 เซลสเตชั่น (CS : Cell Station)

เซลสเตชั่น คือ อุปกรณ์ที่เชื่อมต่อระหว่าง PCT server กับเครื่องลูกข่าย โดยการเชื่อมต่อกับโครงข่าย (Network Interface) จะใช้มาตรฐานการอินเตอร์เฟสพื้นฐานของโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิตอล (BRI : Basic Rate Interface) การเชื่อมต่อกับเครื่องลูกข่ายผ่านอากาศ (Air Interface) จะใช้มาตรฐาน RCR STD 28

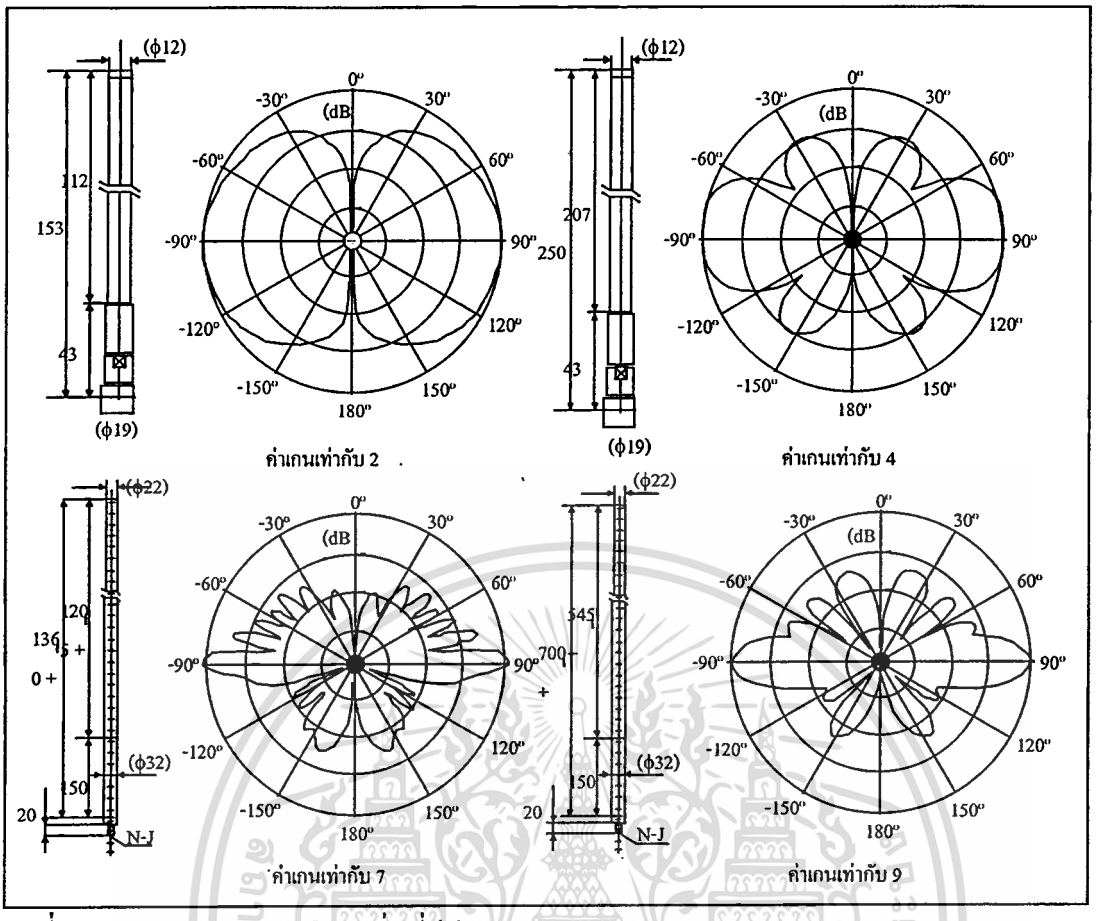


รูปที่ 3.15 ลักษณะของเซลสเตชั่นที่ใช้ในประเทศไทย

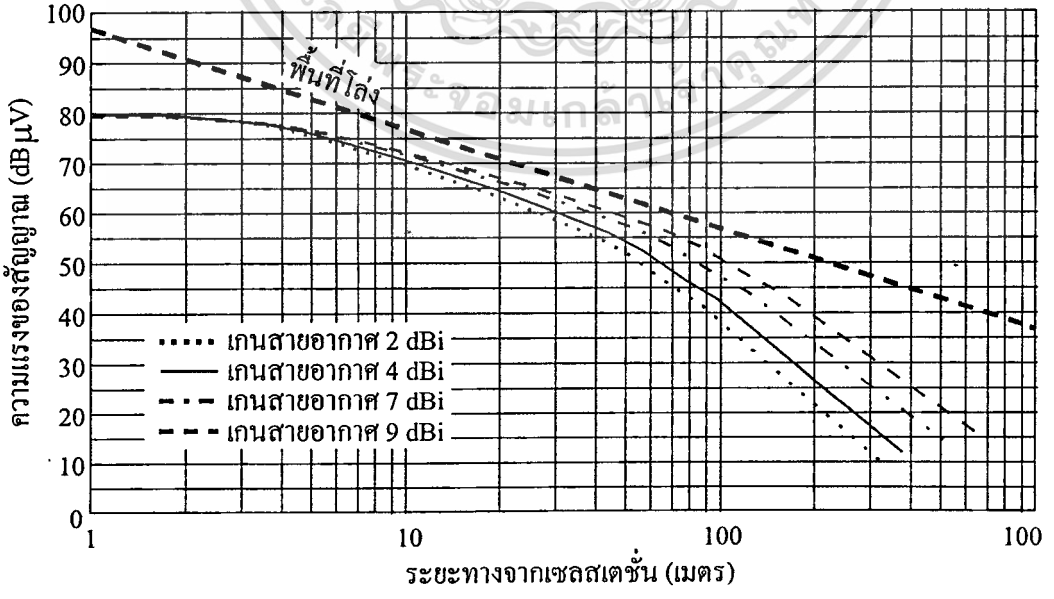
เซลสเตชั่นที่มีการใช้งานอยู่ในประเทศไทยจะมีกำลังส่ง 3 ขนาด คือ 10 mW สำหรับติดตั้งภายในอาคาร กำลังส่งขนาด 20 และ 200 mW สำหรับการติดตั้งภายนอก ซึ่งสายอากาศของเซลสเตชั่นที่ติดตั้งในประเทศไทยจะใช้กำลังขยายเกน 4 ขนาด คือขนาด 2 dBi ขนาด 4 dBi ขนาด 7 dBi และขนาด 9 dBi ดังแสดงในรูปที่ 3.16 จากรูปจะเห็นได้ว่าสายอากาศที่มีค่าเกนสูง จะสามารถแพร่กระจายคลื่นในแนวนอนได้ดี ส่วนการแพร่กระจายคลื่นในแนวตั้งจะมีปัญหาอันเนื่องมาจากไซด์โลป

ในรูปที่ 3.17 จะแสดงการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศทั้ง 4 ขนาด โดยสายอากาศที่มีค่าเกนขนาด 2 dBi ขนาด 4 dBi ขนาด 7 dBi และขนาด 9 dBi จะมีระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นเท่ากับ 200 เมตร 350 เมตร 500 เมตรและ 750 เมตร ตามลำดับ ในการติดตั้งเซลสเตชั่นนั้นจะมีการติดตั้งบนเสาไฟฟ้าข้างถนนอย่างต่อเนื่องในลักษณะลูกโซ่ และเชื่อมโยงกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะด้วยคู่สายดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 สายอากาศของเซลสเตชั่นที่มีค่าเกนขนาด 2 dBi ขนาด 4 dBi ขนาด 7 dBi และขนาด 9 dBi



รูปที่ 3.17 สายอากาศของเซลสเตชั่นที่มีค่าเกนขนาด 2 dBi ขนาด 4 dBi ขนาด 7 dBi และขนาด 9 dBi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเซลสเตชั่นภายในโครงข่ายจะมีดังนี้

1.กระจายข้อมูลข่าวสาร เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของช่องสัญญาณวิทยุ ข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของช่องสัญญาณควบ ข้อมูลของระบบปฏิบัติการ ข้อมูลทางด้านทราฟฟิค เป็นต้น

2.กำหนดช่องสัญญาณสำหรับการติดต่อให้กับเครื่องลูกข่าย เมื่อมีการเรียกออกจากเครื่องลูกข่าย หรือมีการเรียกเข้าหาเครื่องลูกข่าย

3.ทำงานร่วมกับรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่ง PCT server และเซลสเตชั่นอื่นๆ ในการตรวจสอบความถูกต้องของผู้ใช้บริการ

4.เฝ้าดูช่องสัญญาณที่ใช้งานตลอดการสนทนา หากมีสัญญาณรบกวนจนถึงระดับหนึ่งแล้วก็จะดำเนินการร่วมกับเครื่องลูกข่าย เพื่อแก้ไขสัญญาณรบกวน

5.เข้ารหัสและถอดรหัสตามมาตรฐาน RDR STD 28

6.ส่งสัญญาณไปยังเครื่องลูกข่าย เพื่อแจ้งให้ทราบว่ารับสัญญาณจากเซลสเตชั่นใด พร้อมทั้งระบุพื้นที่บริการของเซลสเตชั่นเซลนั้น

7.ทำการแปลงสัญญาณเสียงดิจิตอลความเร็ว ADPCM 32 kbps/s ให้เป็น 64 kbps/s PCM

8.กรณีที่มีทราฟฟิคการใช้งานสูงเซลสเตชั่นจะแบ่งใช้ช่องสัญญาณร่วมกับเซลข้างเคียง

9.ส่งสัญญาณให้ระบบหาช่องสัญญาณที่ว่างเมื่อเกิดการแฮนด์โอเวอร์ระหว่างการสนทนา

3.2.3.7 เครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (PS : Personal Station)

เครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที หรือจะเรียกว่าเครื่องลูกข่ายจะประกอบด้วยส่วนของอุปกรณ์ในการส่งและรับสัญญาณคลื่นวิทยุ สายอากาศ อุปกรณ์การเข้ารหัสสัญญาณเสียง อุปกรณ์ควบคุม เป็นต้น โดยคุณสมบัติเบื้องต้นก็เครื่องลูกข่าย ประกอบด้วย

-เครื่องลูกข่ายมีขนาด (กว้างxยาวxสูง) 40x120x25 (ในหน่วยมิลลิเมตร)

-มีน้ำหนัก 95-220 กรัม

-สามารถสนทนาได้มากกว่า 4 ชั่วโมง

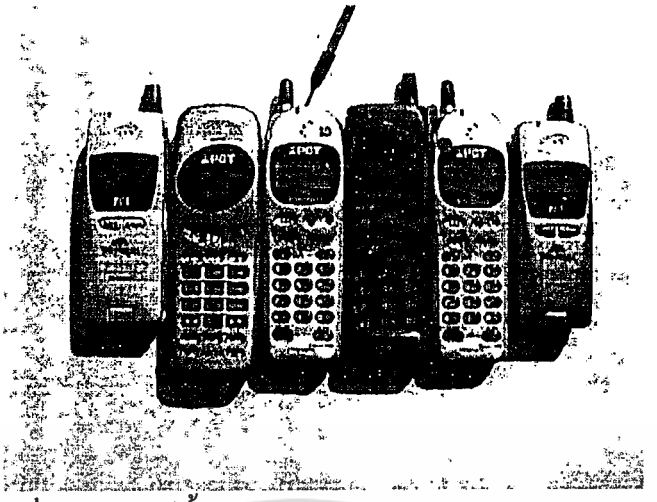
-สามารถเปิดเครื่องสแตนด์บายได้มากกว่า 100 ชั่วโมง

-ใช้แหล่งกำเนิดกระแสสลับขนาด 220 โวลท์ที่ความถี่ 50 Hz

-อุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานอยู่ระหว่าง -10 ถึง +50 องศาเซลเซียส

-สามารถเก็บรักษาเครื่องลูกข่ายในอุณหภูมิ -20 ถึง +60 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างของเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

3.3 มาตรฐานของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

ตารางที่ 3.1 ความถี่ที่ใช้สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

ช่องสัญญาณ	ความถี่ (MHz)	การใช้งาน
1-10	1895.15-1897.85 มีระยะห่างระหว่างช่อง สัญญาณเป็น 300 kHz	ให้บริการการสื่อสารไร้สายระหว่าง เครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพา ส่วนบุคคลพีซีทีด้วยกัน
11-37	1898.15-1905.95 มีระยะห่างระหว่างช่อง สัญญาณเป็น 300 kHz	ให้บริการการสื่อสารแบบไร้สายภาย ในอาคาร โดยมีการทำงานร่วมกับ WPABX
38-69	1906.25-1915.55 มีระยะห่างระหว่างช่อง สัญญาณเป็น 300 kHz	ให้บริการการสื่อสารไร้สาย ภายนอกอาคารสำหรับสาธารณะ
70-77	1915.85-1917.95 มีระยะห่างระหว่างช่อง สัญญาณเป็น 300 kHz	ช่องสัญญาณควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 มาตรฐานของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

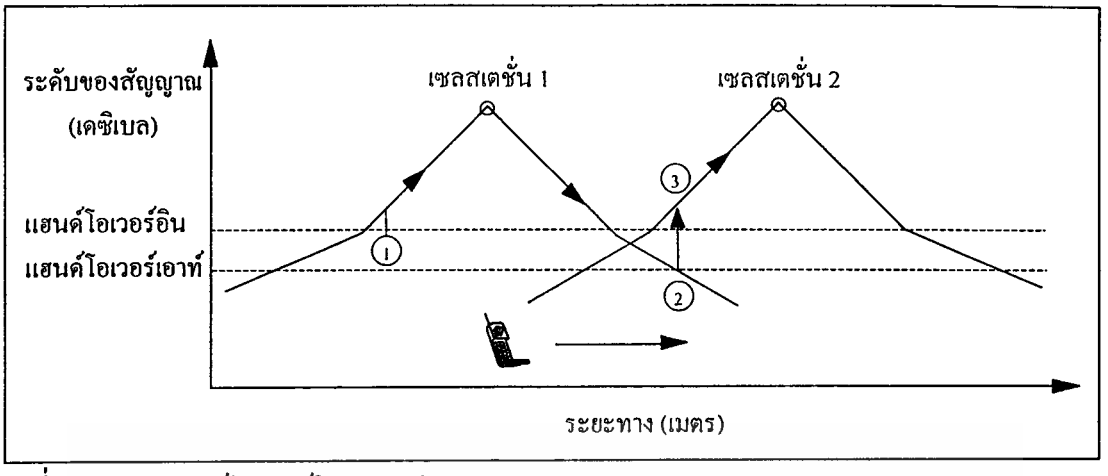
รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	1.9 GHz (1895.15-1917.95 MHz)
เทคนิคการทำงาน	TDMA/TDD
จำนวนช่องสัญญาณ	4
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	300 kHz
ชนิดการมอดูเลท	π/4-DQPSK
ความเร็วในการส่งข้อมูล	384 kbps
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM ที่อัตรา 32 kbps
การจัดสรรช่องสัญญาณ	ไดนามิก
กำลังส่งเฉลี่ยของเซลสเตชั่น	10, 20, 200, 500 mW
กำลังส่งเฉลี่ยของเครื่องโทรศัพท์	5-10 mW

3.4 การแฮนด์โอเวอร์

การแฮนด์โอเวอร์ หรือการข้ามเซล เป็นกระบวนการที่สำคัญ เพื่อเป็นการย้ำให้แน่ใจว่าการติดต่อสื่อสารจะไม่ถูกทำให้หยุดชะงักหรือถูกสัญญาณอื่นแทรกเข้ามา เมื่อผู้ใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีซีทีมีการเคลื่อนที่จากเซลหนึ่งไปยังอีกเซลหนึ่ง เนื่องจากเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีมีขนาดเล็กมาก มีรัศมีครอบคลุมการใช้งานใน 1 เซล ประมาณ 300 ถึง 600 เมตรเท่านั้น เมื่อมีการติดต่อสื่อสารในขณะที่มีการเคลื่อนที่จากเซลหนึ่งไปอีกเซลหนึ่ง จะไม่สามารถใช้เทคนิคของการแฮนด์ออฟ (Handoff) ได้เหมือนกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ซึ่งมีเซลขนาดใหญ่ เนื่องจากการแฮนด์ออฟจำเป็นที่จะต้องส่งถ่ายข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์จากเซลหนึ่งไปอีกเซลหนึ่ง เพื่อจัดเตรียมช่องสัญญาณเอาไว้รองรับล่วงหน้า ซึ่งจะใช้เวลาในการถ่ายโอนข้อมูลพอสมควร แต่ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ซึ่งมีการใช้เทคนิคของเซลขนาดเล็กนั้นจะไม่มีเวลาในการถ่ายโอนข้อมูลอย่างเพียงพอ ดังนั้นจึงได้นำกระบวนการแฮนด์โอเวอร์มาใช้

กระบวนการแฮนด์โอเวอร์ จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการแฮนด์โอเวอร์อินและขั้นตอนการแฮนด์โอเวอร์เอาท์ ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะมีการกำหนดค่าระดับของสัญญาณ จากรูปที่ 3.19 เป็นการแสดงกระบวนการแฮนด์โอเวอร์ในอุดมคติ โดยมีการกำหนดระดับของสัญญาณในขั้นตอนการแฮนด์โอเวอร์อินและการแฮนด์โอเวอร์เอาท์ที่เหมาะสม โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 การแฮนด์โอเวอร์ในอุดมคติ

1.ผู้ใช้บริการเริ่มต้นการเรียกและสนทนาในพื้นที่การให้บริการของเซลสเตชั่น 1

2.เมื่อระดับของสัญญาณลงลงถึงระดับของสัญญาณในการแฮนด์โอเวอร์อิน เครื่องลูกข่ายจะทำตรวจหาสัญญาณที่แรงที่สุดจากเซลข้างเคียง หรือในกรณีที่ช่องสัญญาณเต็มก็จะทำการเลือกเซลที่มีสัญญาณแรงเป็นอันดับ 2 จากนั้นจะทำการยกเลิกการติดต่อสื่อสารกับเซลสเตชั่น 1 เมื่อระดับของสัญญาณลดลงถึงระดับของสัญญาณในการแฮนด์โอเวอร์เอาท์

3.เครื่องลูกข่ายจะใช้ช่องสัญญาณในเซลสเตชั่นที่ 2 เพื่อทำการติดต่อสื่อสารต่อไป

สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้น จะกำหนดระดับของสัญญาณในการแฮด์โอเวอร์อินและแฮนด์โอเวอร์เอาท์ที่ระดับ 30 dBμV และ 25 dBμV ตามลำดับ ซึ่งในช่วงเวลาที่มีการข้ามเซลนี้ ผู้ใช้บริการจะไม่ได้ยินเสียงการสนทนาหรือเกิดการเงียบหายของสัญญาณ (Muting) เป็นเวลาประมาณ 2-3 วินาที ในกรณีที่มีการกำหนดระดับของสัญญาณในการแฮนด์โอเวอร์เอาท์ต่ำหรือสูงเกินไป ดังรูปที่ 3.20 และรูปที่ 3.21 จะก่อให้เกิดปัญหาอันเนื่องจากการเกิดสัญญาณรบกวนและการเงียบหายของสัญญาณตามลำดับ

ลำดับการแฮนด์โอเวอร์เมื่อมีการกำหนดระดับสัญญาณในการแฮนด์โอเวอร์เอาท์ต่ำ

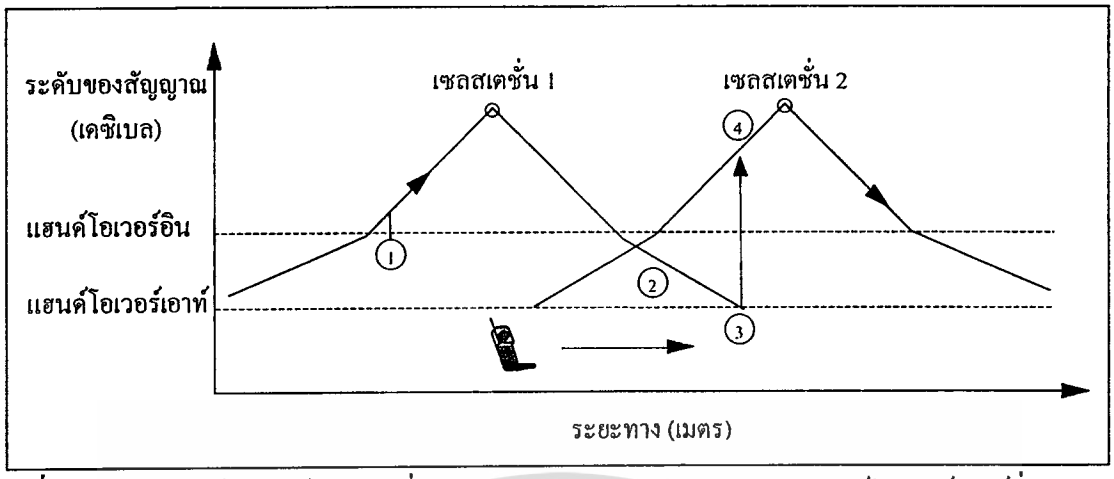
1.ผู้ใช้บริการเริ่มต้นการเรียกและสนทนาในพื้นที่ให้บริการของเซลสเตชั่น 1

2.ระดับของสัญญาณลดต่ำลงและเกิดสัญญาณรบกวนขึ้น

3.ระดับของสัญญาณลดลงจนถึงระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์เอาท์ จึงเริ่มต้นกระบวนการแฮนด์โอเวอร์ขึ้น โดยเครื่องลูกข่ายจะยกเลิกการติดต่อกับเซลสเตชั่น 1

4.เครื่องลูกข่ายทำการติดต่อสื่อสารโดยใช้ช่องสัญญาณที่แรงที่สุดของเซลสเตชั่น 2 สิ้นสุดกระบวนการแฮนด์โอเวอร์และสัญญาณรบกวนจะหายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 การแฮนด์โอเวอร์ในกรณีที่มีการกำหนดระดับสัญญาณในการแฮนด์โอเวอร์เอาท์ต่ำ

ลำดับการแฮนด์โอเวอร์เมื่อมีการกำหนดระดับของสัญญาณในการแฮนด์โอเวอร์เอาท์สูง

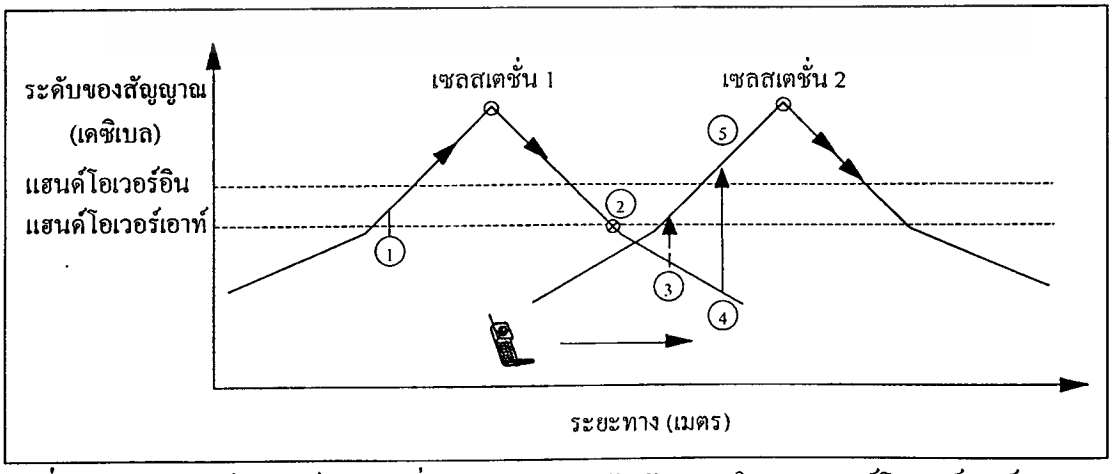
1.ผู้ใช้บริการเริ่มต้นการเรียกและสนทนาในพื้นที่ให้บริการของเซลสเตชั่น 1

2.ระดับของสัญญาณลดต่ำลงถึงระดับแฮนด์โอเวอร์เอาท์ เครื่องลูกข่ายเริ่มต้นกระบวนการแฮนด์โอเวอร์ ซึ่งในกรณีนี้ตัวเครื่องลูกข่ายไม่สามารถหาช่องสัญญาณว่างของเซลสเตชั่น 2 ที่มีค่าระดับของสัญญาณแรงกว่าระดับสัญญาณในการแฮนด์โอเวอร์อิน ดังนั้นเครื่องลูกข่ายจึงสวิทช์กลับไปยังเซลสเตชั่น 1 ซึ่งในขั้นตอนนี้จะทำให้เกิดการเงียบหายของสัญญาณ

3.หลังจากผ่านไป 5 วินาที เครื่องลูกข่ายจะเริ่มต้นการแฮนด์โอเวอร์ครั้งที่ 2 แต่ก็ไม่สามารถหาเซลสเตชั่น 2 ได้ ดังเหตุผลในลำดับขั้นที่ 2

4.หลังจากผ่านไป 5 วินาที เครื่องลูกข่ายจะเริ่มต้นการแฮนด์โอเวอร์อีกครั้ง และตัวเครื่องลูกข่ายจะยกเลิกการติดต่อกับเซลสเตชั่น 1

5.เครื่องลูกข่ายทำการติดต่อสื่อสารกับเซลสเตชั่น 2 เป็นการสิ้นสุดการแฮนด์โอเวอร์

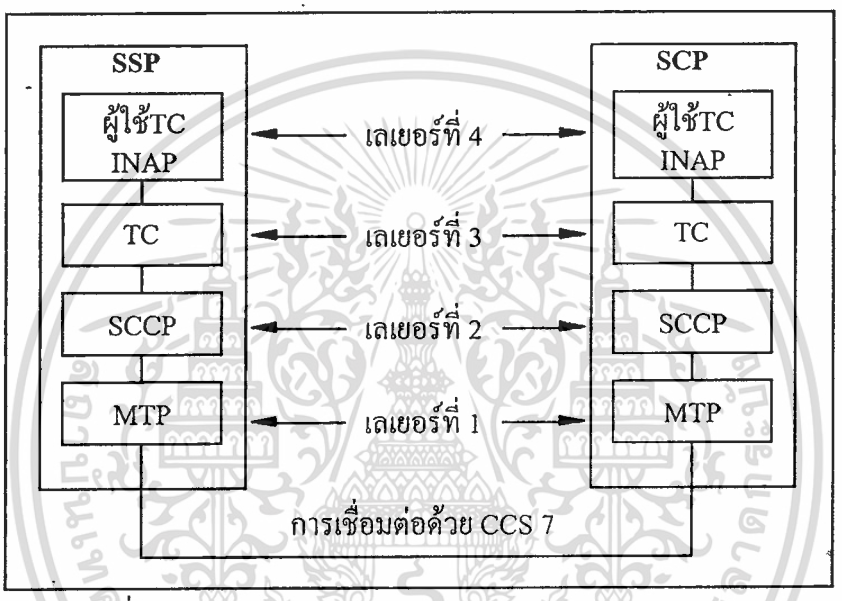


รูปที่ 3.21 การแฮนด์โอเวอร์ในกรณีที่มีการกำหนดระดับสัญญาณในการแฮนด์โอเวอร์เอาท์สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 โปรโตคอลที่ใช้ในโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

โปรโตคอลที่ใช้ในระบบโครงข่ายพื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้น เป็นโปรโตคอลที่ใช้ในส่วนของการให้บริการของโครงข่ายอัจฉริยะ ซึ่งต้องมีการติดต่อระหว่างชุมสายกับโหนดบริการตลอดเวลา โดยการติดต่อระหว่างจุดชุมสายบริการกับจุดควบคุมการบริการจะใช้โปรโตคอลระบบสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 (CCS7 : Common Channel Signaling System Number 7) สำหรับการส่งสัญญาณระหว่างจุดชุมสายบริการและจุดควบคุมการบริการ ซึ่งลักษณะของโปรโตคอลระบบสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 จะแสดงในรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 โปรโตคอลที่ใช้ระหว่างจุดชุมสายบริการและจุดควบคุมการบริการ

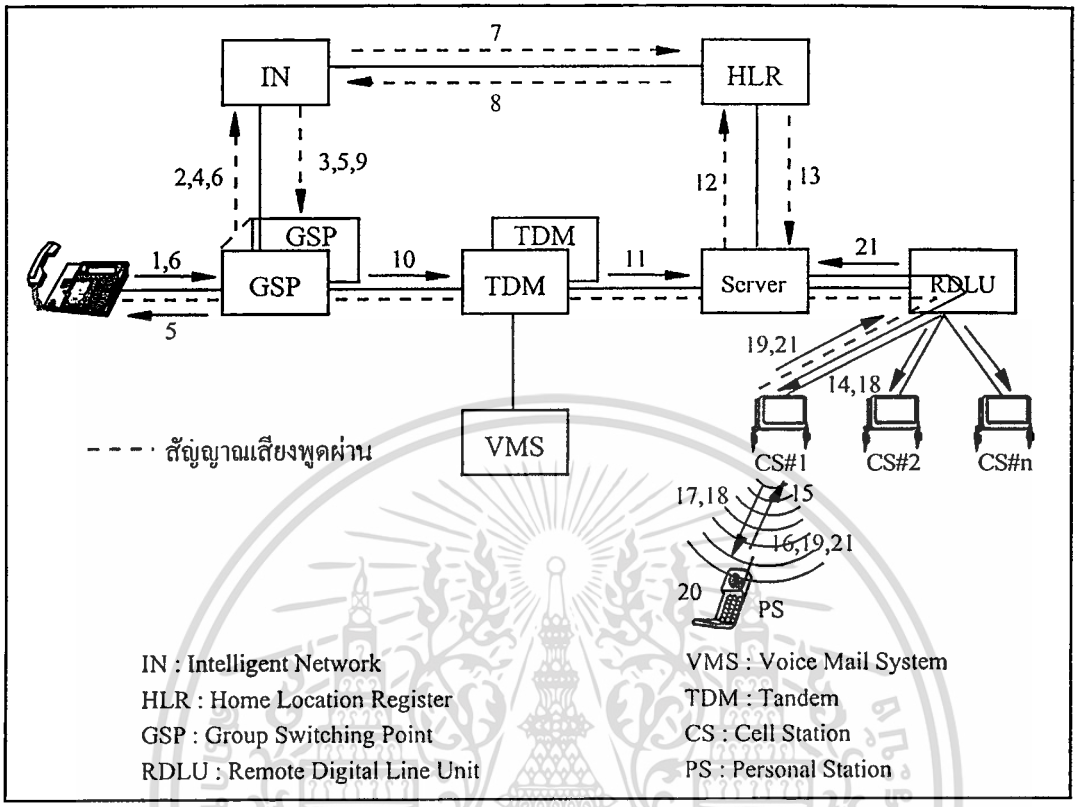
3.6 ลำดับการเรียกของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

การเรียกของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือการเรียกเข้ามายังเครื่องลูกข่าย และการเรียกออกจากเครื่องลูกข่าย โดยการเรียกเข้ามายังเครื่องลูกข่ายจะแบ่งออกได้เป็น 3 กรณี คือ การเรียกเข้าโดยโทรศัพท์ธรรมดา การเรียกเข้าโดยโทรศัพท์เคลื่อนที่ และการเรียกเข้าโดยเครื่องลูกข่ายตัวอื่น ในทำนองเดียวกันการเรียกออกจากเครื่องลูกข่ายจะเกิดจาก การเรียกออกไปยังโทรศัพท์ธรรมดา การเรียกออกไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ และการเรียกออกไปยังเครื่องลูกข่ายตัวอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 ลำดับในการเรียกเข้ามายังโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

กรณีที่ 1 เครื่องโทรศัพท์ธรรมดาเรียกเข้ามายังเครื่องโทรศัพท์ลูกข่าย



รูปที่ 3.23 ลำดับการเรียกเข้าจากเครื่องโทรศัพท์ธรรมดาไปยังเครื่องโทรศัพท์ลูกข่าย

1.ผู้เรียกกดเรียกเลขหมายไปยังชุมสายท้องถิ่น (GSP) ชุมสายท้องถิ่นจะรับเลขหมายจนครบ และทำการตรวจสอบฐานเลขหมายที่เรียกเข้ามานั้นขอใช้บริการพีซีทีหรือไม่

2.ชุมสายท้องถิ่นตรวจสอบการขอใช้บริการพีซีทีส่งเลขหมายไปยังโครงข่ายอัจฉริยะ เมื่อเลขหมายที่เรียกเข้ามาต้องการใช้บริการพีซีที

3.โครงข่ายอัจฉริยะจะตรวจสอบรูปแบบการให้บริการพีซีที และส่งสัญญาณสั่งให้ชุมสายท้องถิ่นทำการเรียกมาที่โครงข่ายอัจฉริยะ เพื่อต่อวงจรเสียงพูด

4.ชุมสายท้องถิ่นต่อวงจรเสียงพูดไปยังโครงข่ายอัจฉริยะ

5.โครงข่ายอัจฉริยะส่งสัญญาณเสียงตอบรับไปยังผู้เรียก เพื่อแจ้งให้ผู้เรียกทราบว่าจะต้องกดเลขหมายต่อไป เพื่อทำการติดต่อไปยังเครื่องโทรศัพท์บ้าน หรือเครื่องลูกข่าย

6.ผู้เรียกกดตัวเลข เพื่อทำการเลือกไปยังปลายทาง เช่น กดปุ่ม "1" เมื่อต้องการติดต่อกับเครื่องลูกข่าย หรือกด "0" เมื่อต้องการติดต่อไปยังโทรศัพท์บ้าน หากผู้เรียกกด "0" การทำงานจะมีลักษณะเหมือนกับการเรียกของโทรศัพท์พื้นฐานทั่วไป แต่ถ้าผู้เรียกเลือกทำการติดต่อไปยังเครื่องลูกข่าย ขั้นตอนต่อไปเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.โครงข่ายอัจฉริยะจะไปค้นหาเลขหมายของเครื่องลูกข่าย และส่งเลขหมายของเครื่องลูกข่ายดังกล่าวไปยังรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่ง เพื่อให้หาตำแหน่งของ PCT server

8.รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งค้นหาเลขหมายพื้นที่ให้บริการจากฐานข้อมูลตัวเอง และทำการส่งกลับไปยังโครงข่ายอัจฉริยะ

9. ครงข่ายอัจฉริยะสั่งให้ชุมสายท้องถิ่นทำการเรียกไปยังเลขหมายปลายทาง

10.ชุมสายท้องถิ่นทำการเรียกไปยัง PCT server ผ่านชุมสายต่อผ่าน

11.ชุมสายต่อผ่านทำการเรียกไปยัง PCT server หมายเลขนั้น

12.PCT server ขอข้อมูลต่างๆของเลขหมายจากรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่ง

13.รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งส่งข้อมูลกลับมายัง PCT server ส่วนของ PCT server จะเก็บข้อมูลดังกล่าวและค้นในฐานข้อมูลว่ามีเซลสเตชั่นเครื่องใดอยู่ในเลขหมายพื้นที่บริการบ้าง

14.เมื่อ PCT server ทราบจำนวนเซลสเตชั่นทั้งหมดภายในเลขหมายพื้นที่บริการก็สั่งให้เซลสเตชั่นทุกตัวในเลขหมายพื้นที่บริการทำการเรียกไปยังเครื่องลูกข่าย

15.เซลสเตชั่นทุกตัวในพื้นที่บริการจะส่งสัญญาณเรียกไปยังเครื่องลูกข่ายนั้น

16.เครื่องลูกข่ายซึ่งมีเลขหมายตรงกับที่เซลสเตชั่นเรียกมา มีการเปิดใช้บริการอยู่ในพื้นที่ที่มีการเรียกจากเซลสเตชั่นเครื่องลูกข่ายจะส่งสัญญาณร้องขอช่องสัญญาณทราฟฟิคไปยังเซลสเตชั่น

17.เซลสเตชั่นตรวจสอบช่องสัญญาณทราฟฟิคว่ามีช่องสัญญาณว่างหรือไม่ ซึ่งถ้าว่างก็จะกำหนดช่องสัญญานเครื่องลูกข่ายหนึ่งช่องความถี่

18.PCT server ส่งสัญญาณไปยังเครื่องลูกข่าย เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องลูกข่ายว่าได้ผ่านการลงทะเบียนอย่างถูกต้องจากผู้ให้บริการแล้ว

19.เครื่องลูกข่ายทำการตรวจสอบความถูกต้องและส่งผลกลับไปยัง PCT server

20.ถ้าเป็นเครื่องที่ได้รับการจดทะเบียนอย่างถูกต้องก็จะส่งสัญญาณเรียก เพื่อให้ผู้ถือเครื่องลูกข่ายทราบว่ามีการเรียกเข้า

21.เมื่อผู้รับกดปุ่มรับ เครื่องลูกข่ายจะส่งสัญญาณไปยัง PCT server เพื่อต่อวงจรเสียงพูด

กรณีที่ 2 เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เรียกเข้ามายังเครื่องลูกข่าย

1.เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเรียกเข้าเครื่องลูกข่ายไปยังสถานีฐาน

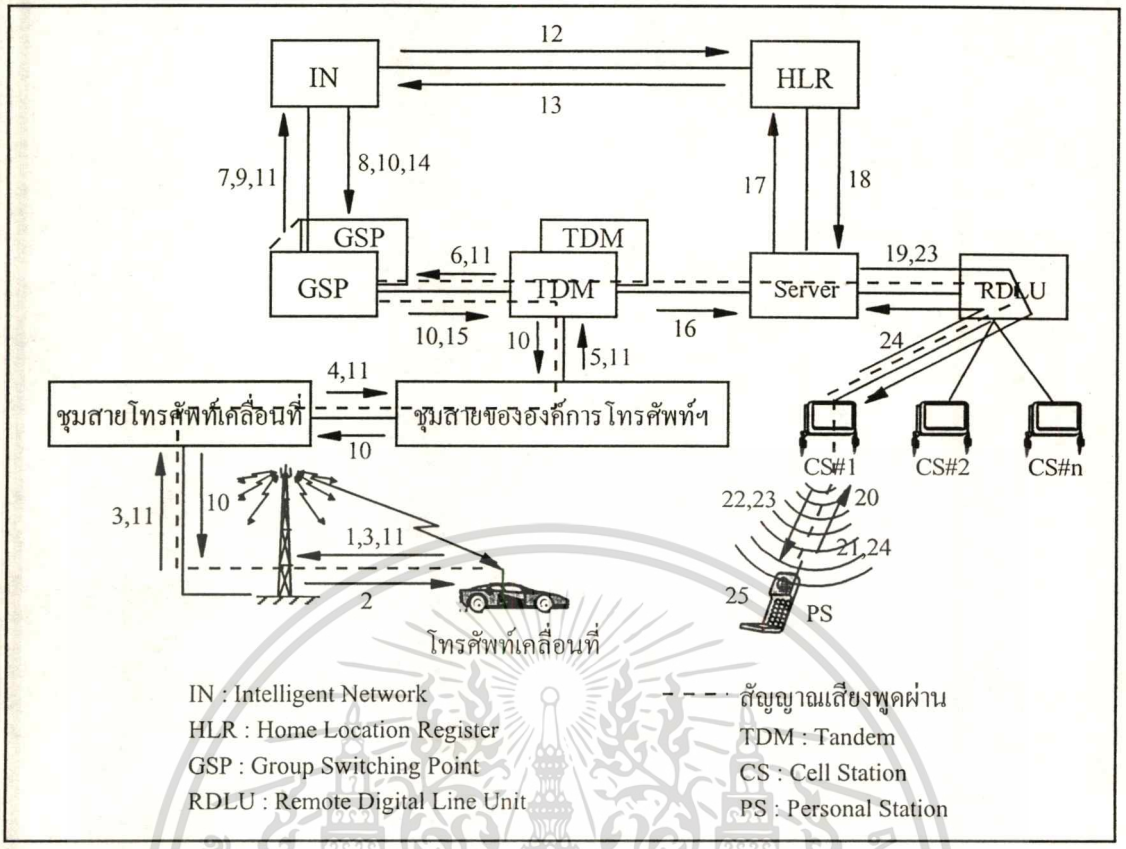
2.สถานีฐานทำการจองช่องสัญญาณ และส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

3.เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่งสัญญาณเซ็ตอัพ โดยมีข้อมูลที่สำคัญคือเลขหมายของผู้รับไปยังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

4.ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเรียกไปยังชุมสายต่อผ่านขององค์การโทรศัพท์ฯ เนื่องจากชุมสายของโทรศัพท์เคลื่อนที่ไม่ได้ต่อโดยตรงกับโครงข่ายของเทเลคอมเอเซียฯ

5.ชุมสายต่อผ่านขององค์การโทรศัพท์ฯ เรียกไปยังชุมสายต่อผ่านของเทเลคอมเอเซียฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 ลำดับการเรียกเข้าจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังเครื่องโทรศัพท์ลูกข่าย

6.ชุมสายต่อผ่านของเทเลคอมเอเชียฯ เรียกไปยังชุมสายท้องถิ่น

ในลำดับที่ 7 ชุมสายท้องถิ่นจะส่งสัญญาณไปยังโครงข่ายอัจฉริยะ และดำเนินการต่อไปตามลำดับที่แสดงไว้ในกรณีที่ 1 จนกระทั่งมีการสนทนาเกิดขึ้น

กรณีที่ 3 เครื่องลูกข่ายตัวอื่นเรียกเข้ามายังเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

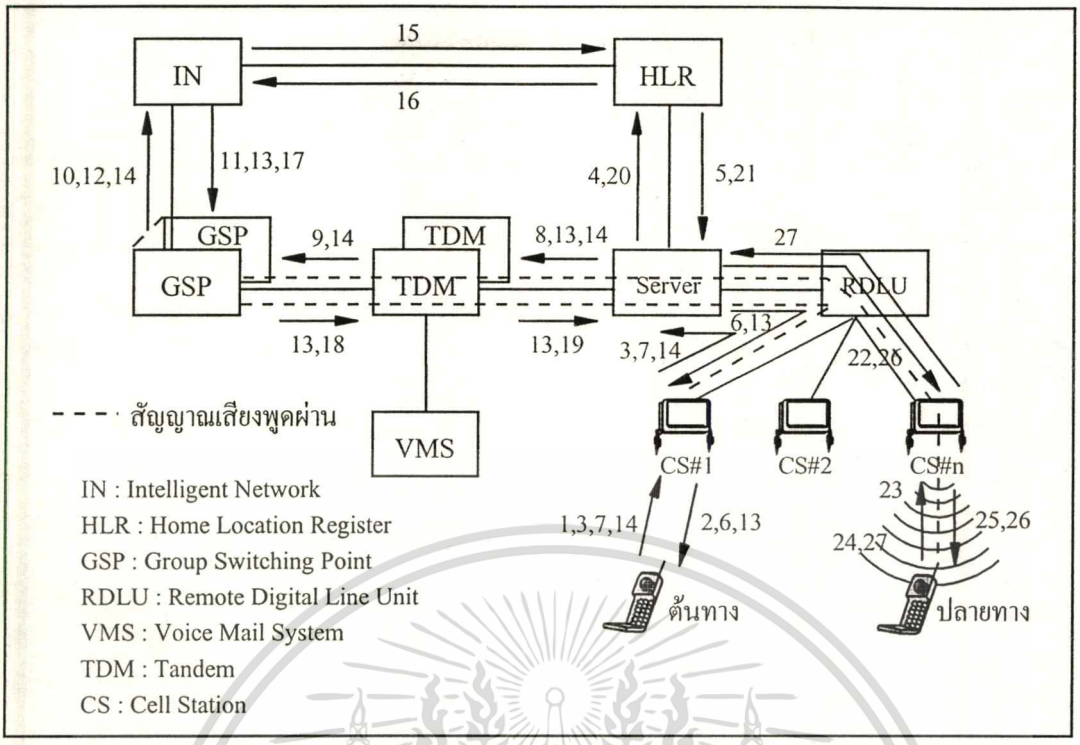
1.เมื่อผู้ใช้บริการกดเลขหมายที่ต้องการซึ่งเป็นเลขหมายเดียวกับโทรศัพท์บ้าน และอยู่ในพื้นที่บริการ เครื่องลูกข่ายจะส่งสัญญาณไปยังเซลสเตชั่นที่สามารถรับสัญญาณได้แรงที่สุด เพื่อขอช่องสัญญาณทราฟฟิค

2.เซลสเตชั่นตรวจสอบช่องสัญญาณทราฟฟิค ถ้ามีว่างก็จะกำหนดช่องสัญญาณทราฟฟิคให้กับเครื่องลูกข่ายหนึ่งช่องความถี่

3.เครื่องลูกข่ายจะส่งเลขหมายปลายทางและเลขหมายของผู้เรียกไปยังเซลสเตชั่น

4.PCT server ตรวจสอบความถูกต้องของผู้ใช้บริการ ถ้าถูกต้องก็จะดำเนินการลำดับต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 ลำดับการเรียกเข้าจากเครื่องโทรศัพท์ลูกข่ายไปยังเครื่องโทรศัพท์ลูกข่ายด้วยกัน

5.รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งส่งข้อมูลต่างๆที่จำเป็นต่อการโทรออก เลขหมายสุ่ม และผลลัพธ์ของการคำนวณไปยัง PCT server เพื่อดำเนินการตรวจสอบความถูกต้อง

6.PCT server จะส่งเลขหมายสุ่มไปให้เครื่องลูกข่ายทำการคำนวณ

7.เครื่องลูกข่ายต้นทางทำการคำนวณเลขหมายสุ่มและส่งผลลัพธ์ไปยัง PCT server

8.PCT server เรียกไปยังชุมสายต่อผ่านตามเลขหมายที่เครื่องลูกข่ายต้นทางเป็นคนกด

ในลำดับที่ 9 ชุมสายท้องถิ่นจะส่งสัญญาณไปยังโครงข่ายอัจฉริยะ และดำเนินการต่อไปตามลำดับที่แสดงไว้ในกรณีที่ 1 จนกระทั่งมีการสนทนาเกิดขึ้น

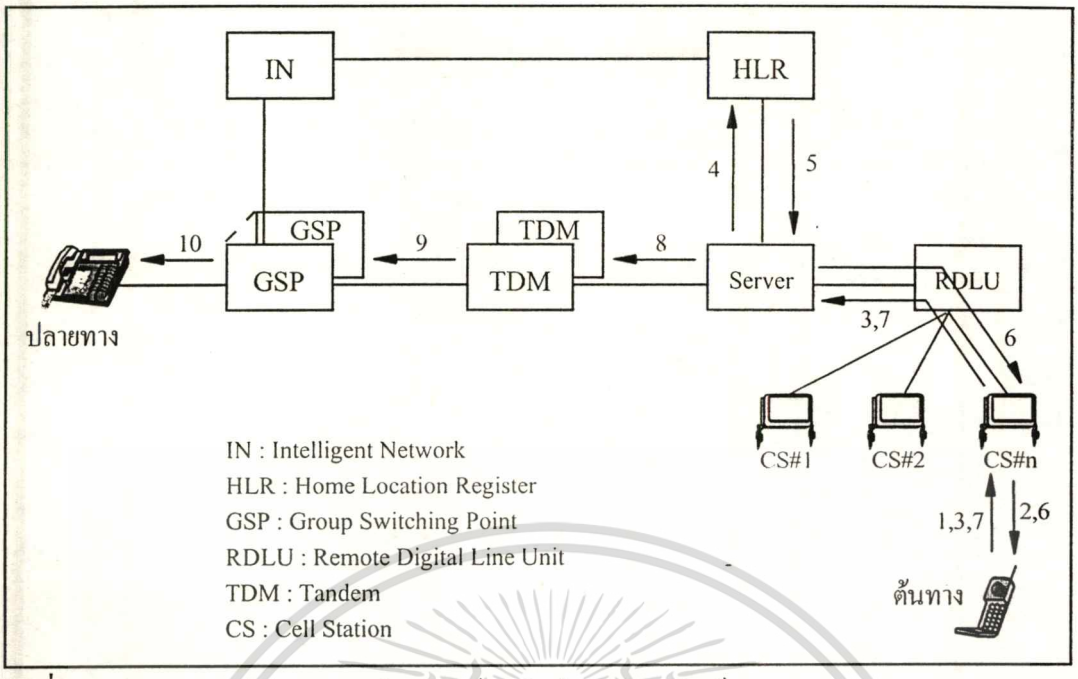
3.6.2 กรรมวิธีในการเรียกออกจากโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

กรณีที่ 1 เครื่องลูกข่ายทำการเรียกออกไปยังโทรศัพท์ธรรมดา

1.ผู้เรียกกดเรียกเลขหมายไปยังชุมสายท้องถิ่น (GSP) ชุมสายท้องถิ่นจะรับเลขหมายจนครบ และทำการตรวจสอบฐานเลขหมายที่เรียกเข้ามานั้นขอใช้บริการพีซีทีหรือไม่

2.ชุมสายท้องถิ่นตรวจสอบการขอใช้บริการพีซีทีส่งเลขหมายไปยังโครงข่ายอัจฉริยะ เมื่อเลขหมายที่เรียกเข้ามาต้องการใช้บริการพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 ลำดับการเรียกออกจากโทรศัพท์ลูกข่ายไปยังโทรศัพท์ธรรมดา

3.โครงข่ายอัจฉริยะจะตรวจสอบรูปแบบการให้บริการพีซีที และส่งสัญญาณสั่งให้ชุมสายท้องถิ่นทำการเรียกมาที่โครงข่ายอัจฉริยะ เพื่อต่อวงจรเสียงพูด

4.ชุมสายท้องถิ่นต่อวงจรเสียงพูดไปยังโครงข่ายอัจฉริยะ

5.โครงข่ายอัจฉริยะส่งสัญญาณเสียงตอบรับไปยังผู้เรียก เพื่อแจ้งให้ผู้เรียกทราบว่าจะต้องกดเลขหมายต่อไป เพื่อทำการติดต่อไปยังเครื่องโทรศัพท์บ้าน หรือเครื่องลูกข่าย

6.ผู้เรียกกดตัวเลข เพื่อทำการเลือกไปยังปลายทาง เช่น กดปุ่ม "1" เมื่อต้องการติดต่อกับเครื่องลูกข่าย หรือกด "0" เมื่อต้องการติดต่อไปยังโทรศัพท์บ้าน หากผู้เรียกกด "0" การทำงานจะมีลักษณะเหมือนกับการเรียกของโทรศัพท์พื้นฐานทั่วไป แต่ถ้าผู้เรียกเลือกทำการติดต่อไปยังเครื่องลูกข่าย ขั้นตอนต่อไปเป็นดังนี้

7.โครงข่ายอัจฉริยะจะไปค้นหาเลขหมายของเครื่องลูกข่าย และส่งเลขหมายของเครื่องลูกข่ายดังกล่าวไปยังรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่ง เพื่อให้หาตำแหน่งของ PCT server

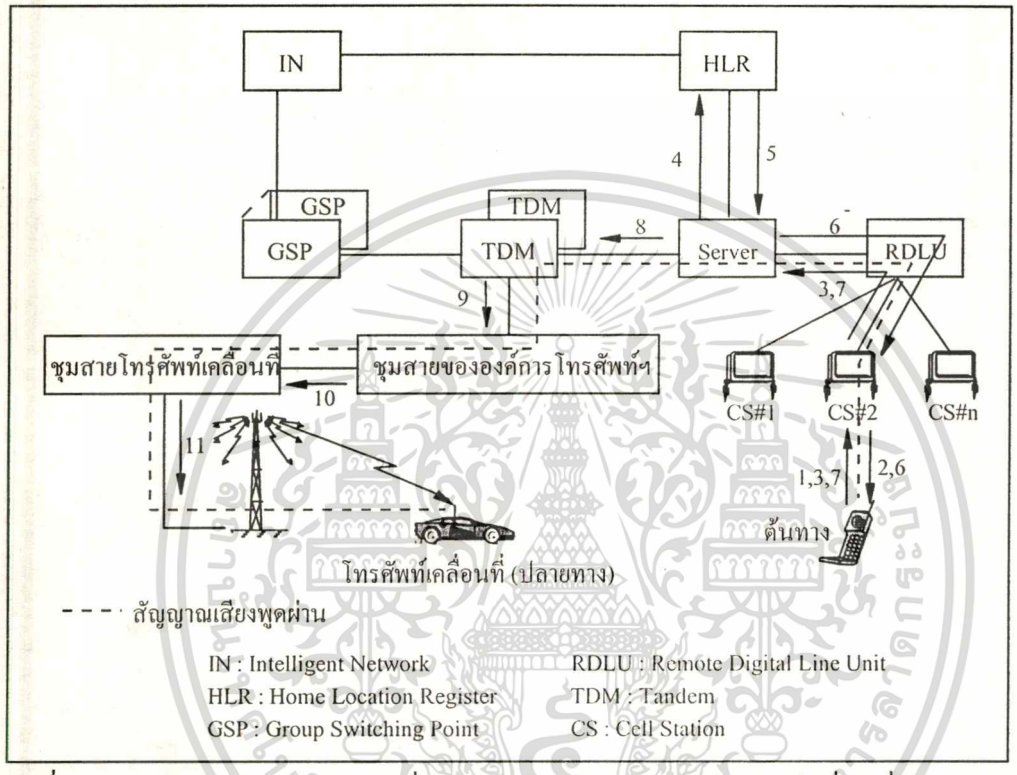
8.รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งค้นหาเลขหมายพื้นที่ให้บริการจากฐานข้อมูลตัวเอง และทำการส่งกลับไปยังโครงข่ายอัจฉริยะ

9.ชุมสายต่อผ่านเรียกไปยังชุมสายท้องถิ่นด้วยเลขหมายที่รับมาจาก PCT server ชุมสายต่อผ่านของเทเลคอมเอเซียจะทราบว่าผู้เรียกต้องการเรียกไปยังปลายทางที่อยู่ในโครงข่ายโทรศัพท์ของเทเลคอมเอเซียฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.ชุมสายเรียกไปยังปลายทาง ถ้าหากการเรียกนั้นเป็นการเรียกไปยังผู้ใช้บริการโทรศัพท์ธรรมดา ชุมสายท้องถิ่นจะพิจารณาจากเลขหมายว่า ปลายทางอยู่ในชุมสายย่อยใดและมี สถานะว่างหรือไม่ว่าง

กรณีที่ 2 เครื่องลูกข่ายทำการเรียกออกไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 3.27 ลำดับการเรียกออกจากเครื่องโทรศัพท์ลูกข่ายไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่

1.ผู้เรียกกดเรียกเลขหมายไปยังชุมสายท้องถิ่น (GSP) ชุมสายท้องถิ่นจะรับเลขหมายจนครบ และทำการตรวจสอบฐานเลขหมายที่เรียกเข้ามานั้นขอใช้บริการพีซีทีหรือไม่

2.ชุมสายท้องถิ่นตรวจสอบการขอใช้บริการพีซีทีส่งเลขหมายไปยังโครงข่ายอัจฉริยะ เมื่อเลขหมายที่เรียกเข้ามาต้องการใช้บริการพีซีที

3.โครงข่ายอัจฉริยะจะตรวจสอบรูปแบบการให้บริการพีซีที และส่งสัญญาณสั่งให้ชุมสายท้องถิ่นทำการเรียกมาที่โครงข่ายอัจฉริยะ เพื่อต่อวงจรเสียงพูด

4.ชุมสายท้องถิ่นต่อวงจรเสียงพูดไปยังโครงข่ายอัจฉริยะ

5.โครงข่ายอัจฉริยะส่งสัญญาณเสียงตอบรับไปยังผู้เรียก เพื่อแจ้งให้ผู้เรียกทราบว่าจะต้องกดเลขหมายต่อไป เพื่อทำการติดต่อไปยังเครื่องโทรศัพท์บ้าน หรือเครื่องลูกข่าย

6.ผู้เรียกกดตัวเลข เพื่อทำการเลือกไปยังปลายทาง เช่น กดปุ่ม “1” เมื่อต้องการติดต่อกับเครื่องลูกข่าย หรือกด “0” เมื่อต้องการติดต่อไปยังโทรศัพท์บ้าน หากผู้เรียกกด “0” การทำงานจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเหมือนกับการเรียกของโทรศัพท์พื้นฐานทั่วไป แต่ถ้าผู้เรียกเลือกทำการติดต่อไปยังเครื่องลูกข่าย ขั้นตอนต่อไปเป็นดังนี้

7.โครงข่ายอัจฉริยะจะไปค้นหาเลขหมายของเครื่องลูกข่าย และส่งเลขหมายของเครื่องลูกข่ายดังกล่าวไปยังรีจิสเตอร์ระบุตำแหน่ง เพื่อให้หาตำแหน่งของ PCT server

8.รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งค้นหาเลขหมายพื้นที่ให้บริการจากฐานข้อมูลตัวเอง และทำการส่งกลับไปยังโครงข่ายอัจฉริยะ

9.ชุมสายต่อผ่านเรียกไปยังชุมสายต่อผ่านขององค์การโทรศัพท์ฯ ด้วยเลขหมายที่รับมาจาก PCT server โดยชุมสายต่อผ่านของเทเลคอมเอเซียฯ จะทราบว่าผู้เรียกต้องการเรียกไปยังปลายทางที่อยู่ในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (ผู้เรียกกดรหัส 01) จึงทำการเรียกต่อไปยังชุมสายต่อผ่านขององค์การโทรศัพท์ฯ

10.ชุมสายต่อผ่านขององค์การโทรศัพท์ฯ จะเรียกไปยังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยเลขหมายที่ได้รับมาจากชุมสายต่อผ่านของเทเลคอมเอเซียฯ โดยชุมสายต่อผ่านขององค์การโทรศัพท์ฯ จะทราบว่าผู้เรียกต้องการเรียกไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบใด ในพื้นที่บริการใด

11.ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เรียกไปยังเครื่องโทรศัพท์มือถือตามเลขหมายที่ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
วิธีการคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที

4.1 บทนำ

สิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบและวางโครงข่ายของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที ก็คือ การคำนวณพื้นที่ครอบคุลมของเซลหรือการหาขอบเขตของพื้นที่ให้บริการ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการการลดทอนของสัญญาณ โดยสัญญาณที่แพร่กระจายออกไปจากเซลสเตชั่นจะเกิดการลดทอนได้หลายรูปแบบ เช่น เกิดการลดทอนเนื่องจากระยะทางโดยที่ระยะทางมากขึ้นการลดทอนก็เพิ่มขึ้น เกิดการลดทอนเนื่องจากสิ่งกีดขวางต่างๆเช่น อาคารสิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ หรือสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ การลดทอนของสัญญาณยังเกิดจากการสะท้อนของคลื่นในมุมที่ทำให้เฟสหักล้างกันและการลดทอนเนื่องจากการหักเหของสัญญาณ เป็นต้น วิธีการหาการลดทอนของสัญญาณที่เป็นที่นิยมใช้กันมาก ก็คือ วิธีการคาดคะเน เช่นวิธีการของ Hata สำหรับเซลขนาดเล็ก วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami วิธีการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด และวิธีการคาดคะเนการลดทอนของสัญญาณโดยอาศัยสมการเส้นตรงของฟังก์ชั่นล็อกการิทึ่ม แต่วิธีการทั้งหมดก็ยังมีข้อจำกัดดังกล่าวไว้ในบทที่ 1

4.2 หลักการแพร่กระจายคลื่น

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ P_r เป็นกำลังที่เครื่องรับได้ต่อ หนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งมีความสัมพันธ์รูปแบบปกติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำหนดโดย

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

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 เป็นค่าความต้านทานมีค่าเท่ากับ 377.752 Ω

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

ถ้ากำหนดให้สายอากาศเป็นแบบไอโซโทรปิค และพื้นผิวการแพร่กระจายคลื่นเป็นทรงกลมดังแสดงในรูปที่ 4.1 ดังนั้นกำลังที่เครื่องรับได้รับ

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

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

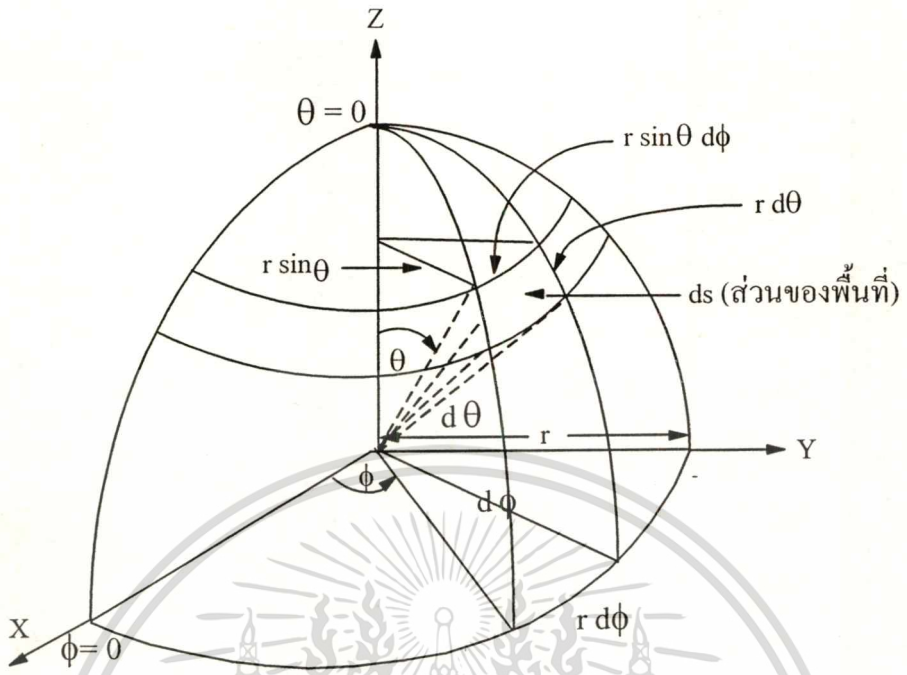
$$P_r = \frac{P_t}{4\pi r^2} \tag{4.6}$$

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

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

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

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

$$L(dB) = G_t(dB) + G_r(dB) - (32.44 + 20 \log r + 20 \log f) \tag{4.12}$$

ถ้าอัตราส่วนของกำลังงานที่รับได้กับกำลังงานที่ส่ง (โดยใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิค ค่าอัตราการขยายกำลังของ G_r และ G_t จะมีค่าเท่ากับ 1) และแทนค่าความสัมพันธ์ λ = f/c (โดย c คือความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s) จะได้สมการการลดทอนเป็น

$$L(dB) = 32.44 + 20 \log r + 20 \log f \tag{4.13}$$

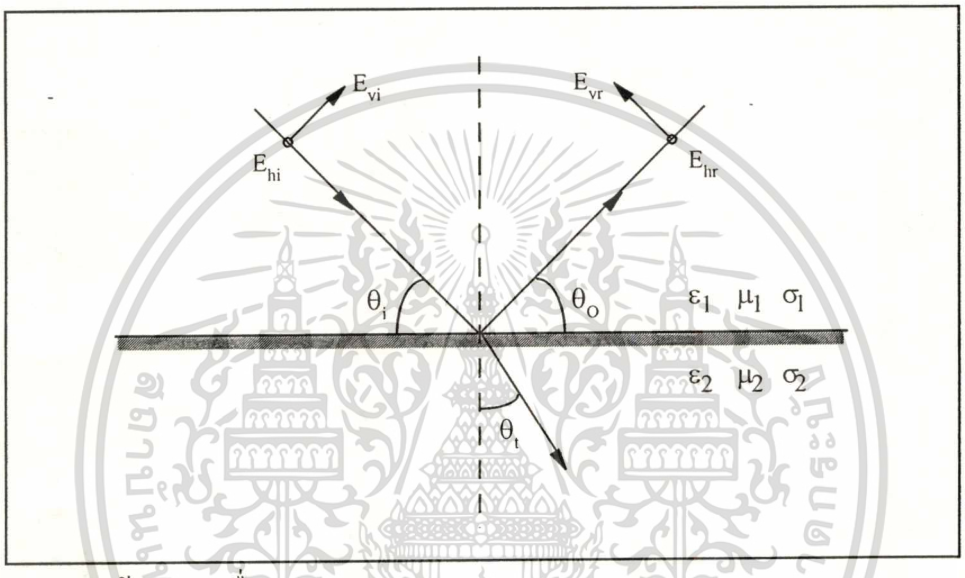
4.3 กลไกการแพร่กระจายคลื่นพื้นฐาน (Basic propagation Mechanisms)

4.3.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection)

การสะท้อนของคลื่น (Reflection) จะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบบนสิ่งกีดขวางที่มีมิติกว้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของสัญญาณ โดยการสะท้อนจากพื้นผิวของโลกและจากสิ่งก่อสร้าง หรือคลื่นที่สะท้อนมาจากผนัง ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นที่อุปกรณ์รับสัญญาณก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบตัวกลางสองตัวที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกแตกต่างกัน คลื่นส่วนหนึ่งจะมีการสะท้อนกลับและคลื่นอีกส่วนหนึ่งจะเคลื่อนที่ทะลุผ่านไป สำหรับในกรณีที่คลื่นตกกระทบอากาศปกติบนผิวของตัวนำไฟฟ้า คลื่นจะมีการสะท้อนกลับโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน ถ้าคลื่นตกกระทบบนผิวของฉนวนไฟฟ้า พลังงานส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านเข้าไปในผิว พลังงานอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับและจะไม่มีการสูญเสียของพลังงานในการดูดกลืน ซึ่งความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนแสดงได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเฟรสเนล (Fresnel reflection coefficient : Γ)



รูปที่ 4.2 การสะท้อนของคลื่น

รูปที่ 4.2 จะแสดงลักษณะการตกกระทบและสะท้อนของคลื่น โดยตัวห้อย v และ h จะหมายถึงการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ และตัวห้อย i และ r จะหมายถึงสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบและสะท้อนตามลำดับ ค่าเพอมิตติวิตี้ ค่าความแทรกซึม และสภาพการนำของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 จะแทนด้วย $\varepsilon_1, \mu_1, \sigma_1$ และ $\varepsilon_2, \mu_2, \sigma_2$ ตามลำดับ ในกรณีที่ตัวกลางที่ 1 เป็นอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสำหรับการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวนอน จะแสดงได้ดังนี้

$$\Gamma_v = \frac{E_{vr}}{E_{vi}} = \frac{-\varepsilon_r \sin\theta_i - \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_i}}{\varepsilon_r \sin\theta_i + \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_i}} \tag{4.14}$$

$$\Gamma_h = \frac{E_{hr}}{E_{hi}} = \frac{\sin\theta_i - \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_i}}{\sin\theta_i + \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2\theta_i}} \tag{4.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ε_r เป็นค่าเพอมิตติวิตี้ที่สัมพันธ์กันระหว่างตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 และ θ_i เป็นมุมตกกระทบที่ทำให้สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน Γ_h มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะเรียกมุมนี้ว่า มุมของบริวส์เตอร์ (Brewster angle) โดยสามารถเขียนสมการของค่ามุมบริวส์เตอร์ ได้ดังนี้

$$sin\theta_i = \frac{\sqrt{\varepsilon_r - 1}}{\sqrt{\varepsilon_r^2 - 1}} \tag{4.16}$$

การแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศส่งและตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตาจะเป็นไปตามสมการการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของฟรีอิส ซึ่งเป็นการพิจารณาคลื่นที่เดินทางผ่านสูญญากาศเท่านั้น แต่สำหรับรูปแบบการสะท้อนของคลื่นบนพื้นดินในรูปที่ 4.3 จะเป็นรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นที่พิจารณาถึงคลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นที่สะท้อนจากพื้นดิน (Two-ray model) โดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในลักษณะนี้ จะสมมุติให้ความยาวคลื่นมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งกีดขวางทั้งหมด ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งมีค่าน้อย และสมมุติให้ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ ค่าของสนามไฟฟ้าที่รับได้ทั้งหมด จะเป็นผลรวมระหว่างสนามไฟฟ้าในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา (E_{LOS}) หรือสนามไฟฟ้าที่ได้รับจากคลื่นตรงและค่าของสนามไฟฟ้าที่สะท้อนจากพื้นดิน (E_g) ที่ระยะทาง d_0 จากรูปกำหนดให้ h_t เป็นความสูงของสายอากาศส่ง และ h_r เป็นความสูงของสายอากาศรับ ดังนั้นจากกฎของการสะท้อนจะแสดงได้ดังนี้

$$\theta_i = \theta_0 \quad \text{และ} \quad E_0 = \Gamma E_i \tag{4.17}$$

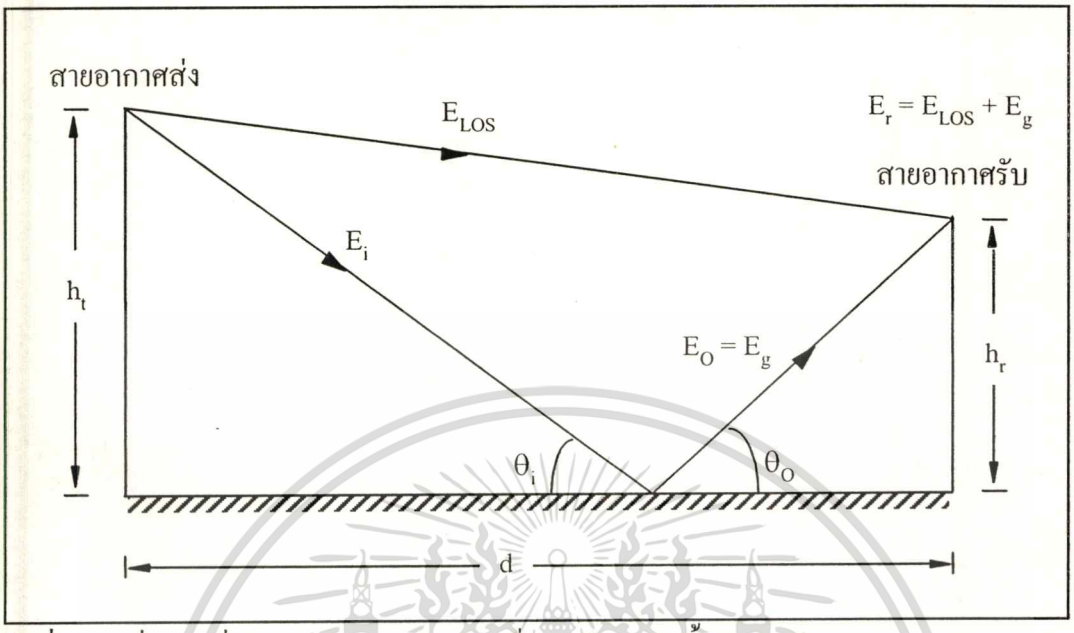
เมื่อ Γ เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นดิน พิจารณาในกรณีที่ระยะทางระหว่างสายอากาศส่ง และสายอากาศรับมีระยะทางไกลมาก ดังนั้นจึงสามารถประมาณค่ามุมตกกระทบ (θ_i) ให้มีค่าเป็น 0 องศา และคลื่นสะท้อนจะมีขนาดเท่ากับคลื่นตกกระทบ แต่จะมีความต่างเฟสเป็น 180 องศา ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการแสดงค่าสนามไฟฟ้าทั้งหมดได้ดังนี้

$$|E_r(d)| = \frac{2E_{LOS}d_0}{d} sin\frac{\theta_\Delta}{2} \tag{4.18}$$

โดยค่าความต่างเฟส (θ_Δ) จะสัมพันธ์กับค่าความต่างของเส้นทาง (Δ) ระหว่างเส้นทางของคลื่นตรงและคลื่นสะท้อน ซึ่งมีความสัมพันธ์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta\Delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} \tag{4.19}$$



รูปที่ 4.3 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก

จากรูปที่ 4.2 ถ้าระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (*d*) มีค่ามาก จะสามารถประมาณได้ว่า

$$\sin\frac{\theta\Delta}{2} \approx \frac{\theta\Delta}{2} = \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \tag{4.20}$$

เมื่อ $\frac{\theta\Delta}{2}$ มีค่าน้อยมากๆและค่าสนามแม่เหล็กที่รับได้ ในหน่วยโวลท์ต่อเมตร จะเป็น

$$E_r(d) \approx 2E_{LOS}\frac{2\pi h_t h_r d_0}{\lambda d^2} \approx \frac{k}{d^2} \tag{4.21}$$

โดย k เป็นค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับ E_{d0} ซึ่งเป็นค่าสนามไฟฟ้าที่วัดได้ที่ระยะ d_0 จากสายอากาศส่ง ค่าพลังงานที่วัดได้ที่ตำแหน่ง d จะแปรผันตรงกับค่าสนามไฟฟ้ายกกำลังสอง

ถ้าระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับมีค่ามากๆ พลังงานที่ได้รับก็จะมีค่าลดลงด้วยอัตรา 40 dB/decade โดยค่าพลังงานที่ได้รับ และค่าของการลดทอนของสัญญาณจะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณจากพื้นดินในหน่วยเดซิเบล ได้ดังสมการที่ 4.22

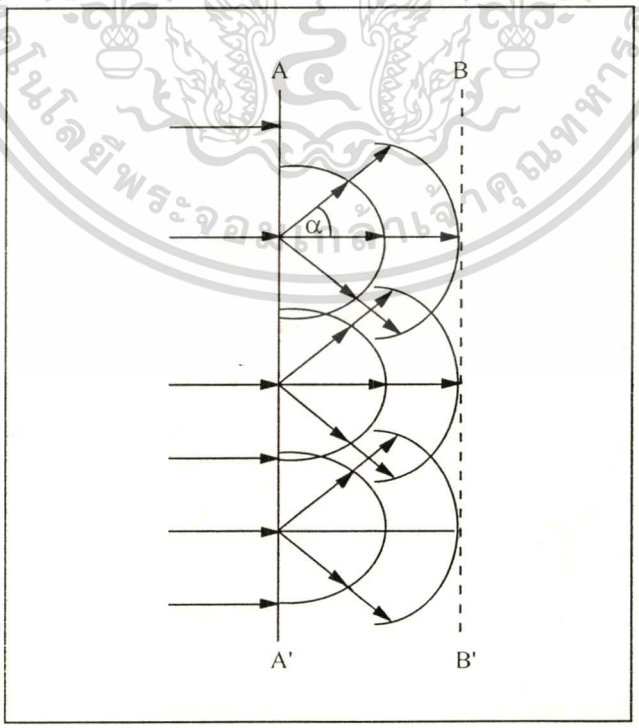
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L(dB) = -10\log(G_t) - 10\log(G_r) - 20\log(h_t) - 20\log(h_r) + 40\log(d) \quad (4.22)$$

4.3.2 การหักเหของคลื่น (Diffraction)

การหักเหของคลื่น (Diffraction) จะเกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งกีดขวางระหว่างเส้นทางการเดินทางของคลื่นระหว่างอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณ โดยพื้นผิวของสิ่งกีดขวางมีมุม หรือมีลักษณะที่ไม่เรียบ คลื่นที่มีการหักเหอันเนื่องจากสิ่งกีดขวาง จะมีการเคลื่อนที่ผ่านอากาศ และเคลื่อนที่บริเวณด้านหลังของสิ่งกีดขวาง (ทำให้เกิดเขตพื้นที่เงา) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์การหักเหของคลื่นที่ความถี่สูง การหักเหจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางเรขาคณิตของสิ่งกีดขวาง แอมปลิจูด เฟส และการโพลาไรซ์ของคลื่นที่จุดที่มีการหักเห

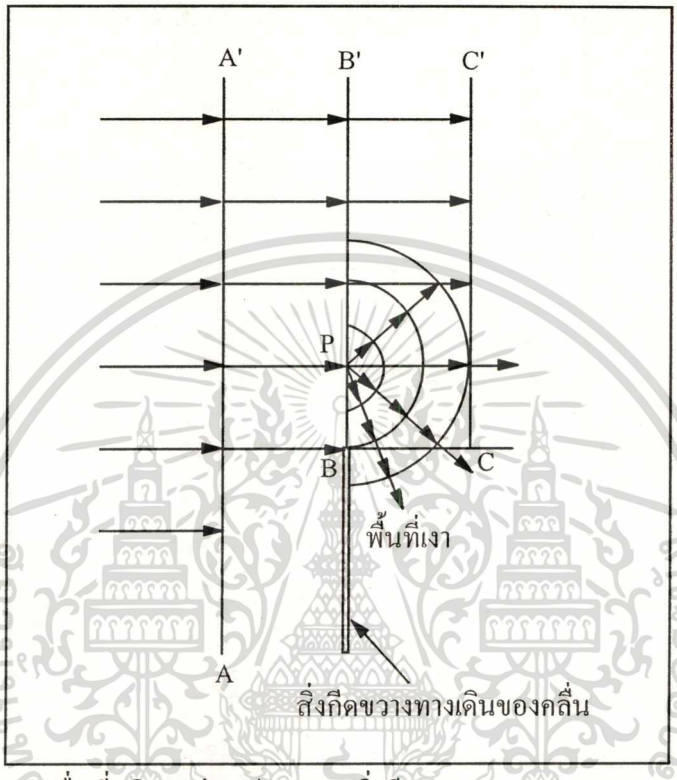
ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการหักเหของคลื่น สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีเบื้องต้นของฮิวเกน (Huygen's principle) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า "ทุกๆจุดบนคลื่นวิทยุสามารถพิจารณาได้ในลักษณะเช่นเดียวกับแหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สอง ซึ่งสามารถเป็นจุดกำเนิดคลื่นย่อยอื่นๆ และคลื่นย่อยต่างๆ เหล่านี้ จะประกอบกันเป็นหน้าคลื่นใหม่ในเส้นทางของการแพร่กระจายคลื่น การหักเหที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายของหน้าคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดเขตพื้นที่เงา ซึ่งค่าความหนาแน่นของคลื่นที่เกิดจากการหักเหในเขตพื้นที่เงาจะมีการรวมกันแบบเวคเตอร์ของคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นทั้งหมด"



รูปที่ 4.4 หลักการของ Huygen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

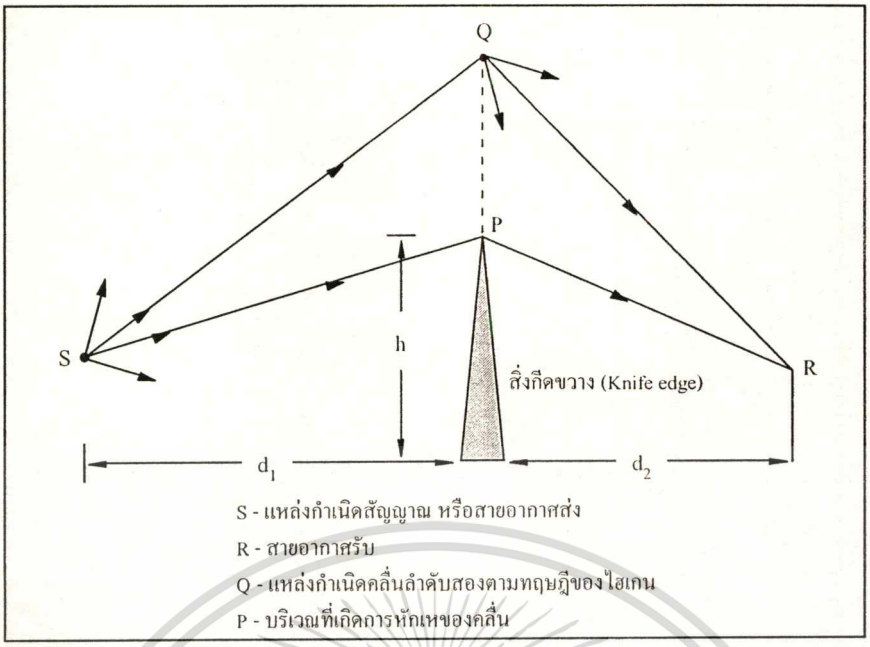
รูปที่ 4.4 จะแสดงให้เห็นถึงหลักการของฮิวเกน โดยจะพิจารณาที่ AA′ จะเห็นว่ามีการเกิดคลื่นในแนวต่างๆที่แตกกระจายออกไปในมุม α ซึ่งมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน ค่าแอมปลิจูดของคลื่นต่างๆ จะมีค่าเป็น $(1 - \cos \alpha)$ แต่ในทิศทางตรงค่ามุม α จะมีค่าเท่ากับศูนย์และมีค่าแอมปลิจูดสูงสุดคือเท่ากับ 2 ในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งมีมุม α เท่ากับ π จะมีค่าแอมปลิจูดต่ำสุด คือมีค่าเท่ากับ 1



รูปที่ 4.5 การหักเหของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง

เมื่อมีเขตพื้นที่เงาเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เช่น ภูเขา หรืออาคาร สิ่งก่อสร้างต่างๆ การลดทอนของสัญญาณจะเกิดจากการหักเหของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆเหล่านี้ โดยให้ลักษณะของสิ่งกีดขวางเป็นเหลี่ยมแหลม และมีการหักมุม ที่มีลักษณะไม่เรียบ ซึ่งการลดทอนเนื่องจากการหักเหของคลื่นที่เกิดขึ้นบริเวณนี้ จะสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการของฮิวเกน ดังในรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen

ค่าความแรงของสนามไฟฟ้าที่จุด R ในพื้นที่เงา (จะเรียกว่าโซนการหักเห) จะเป็นผลรวมของเวคเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของฮิวเกนในพื้นที่เหนือสิ่งกีดขวาง โดยค่าความแรงของสนามไฟฟ้า (E_d) ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการหักเหของคลื่นที่บริเวณสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุม แหลม จะสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$E_d = E_0 F(\upsilon) \tag{4.23}$$

โดย E_0 เป็นความแรงของสนามไฟฟ้าในอากาศในบริเวณที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง และ $F(\upsilon)$ เป็นฟังก์ชั่นของค่าพารามิเตอร์การหักเหของเฟรสเนลและไคร์ชอฟฟ์ (Fresnel-Kirchoff diffraction parameter - υ) โดยสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\upsilon = h\sqrt{(2/\lambda)(d_1+d_2)/d_1 d_2} \tag{4.24}$$

โดย h เป็นความสูงของสิ่งกีดขวาง และ d_1 และ d_2 เป็นระยะทางของสิ่งกีดขวางจากสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ตามลำดับ ถ้าสิ่งกีดขวางยื่นออกมาเหนือเส้นทางลากจากจุด S ไปยังจุด R โดยค่าของ h และ υ จะเป็นบวก แต่ถ้าสิ่งกีดขวางมีระดับต่ำกว่าสภาวะการมองเห็นในระดับสายตา ค่าของ h และ υ จะเป็นลบ และค่าอินทิกรัลของเฟรสเนลจะสามารถหาได้จากตาราง เพื่อใช้ในการหาค่า υ โดยสมการการลดทอนเนื่องจากการหักเหในหน่วยเดซิเบลที่เกิดขึ้นจากสิ่งกีดขวางจะแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_d = 20 \log |F(\upsilon)| \tag{4.25}$$

เนื่องจากลักษณะของสมการการลดทอนเนื่องจากการหักเหที่จะนำไปหาค่าอินทิกรัลของเฟรสเนลนั้น ยากต่อการนำไปคำนวณ ดังนั้นในปี 1985 Lee จึงได้ทำการหาค่าคำตอบโดยประมาณในหน่วยของเดซิเบลไว้ดังนี้

$$L_d = 0 \qquad 1 \leq \upsilon \tag{4.26}$$

$$L_d = 20 \log (0.5 + 0.62\upsilon) \qquad 0 \leq \upsilon \leq 1 \tag{4.27}$$

$$L_d = 20 \log (0.5 \exp (0.95\upsilon)) \qquad -1 \leq \upsilon \leq 0 \tag{4.28}$$

$$L_d = 20 \log (0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.1\upsilon + 0.38)^2} \qquad -2.4 \leq \upsilon \leq -1 \tag{4.29}$$

$$L_d = 20 \log (-0.225/\upsilon) \qquad \upsilon \geq -2.4 \tag{4.30}$$

4.3.3 การกระเจิงของคลื่น (Scattering)

การกระเจิงหรือการแตกกระจายของคลื่น (Scattering) จะเกิดขึ้นเมื่อตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน เช่น สิ่งกีดขวางต่างๆมีขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น และจำนวนของสิ่งกีดขวางต่อหน่วยปริมาตรมีจำนวนมาก ในการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณในสิ่งแวดล้อมของคลื่นวิทยุ จะประกอบไปด้วยค่าการลดทอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนและการหักเหของคลื่นควบคู่กัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระ พลังงานสะท้อนจะมีการแตกกระจายออกไปในทุกทิศทาง ดังนั้นสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ต้นไม้ เสาไฟฟ้า และพื้นผิวขรุขระต่างๆ จะได้รับพลังงานที่กระจายออกมา สำหรับพื้นผิวที่มีความขรุขระมากๆจะใช้การทดสอบโดยหลักการของเรย์ลีกซ์ (Rayleigh criterion)

4.4 วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ

วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ จะสามารถอธิบายได้ 2 ลักษณะ อันได้แก่ การอธิบายโดยการอาศัยการวิธีการวิเคราะห์ (Analytical Method) การลดทอนของสัญญาณและการอธิบายโดยวิธีการสังเกต (Empirical Method) โดยสามารถนำมาใช้ในการอธิบายร่วมกันได้ ซึ่งการอธิบายโดยวิธีการสังเกต จะใช้หลักการที่เรียกว่า “Fitting curves” และการอธิบายโดยวิธีการวิเคราะห์ จะสามารถทำได้โดยการวัดระดับความแรงของสัญญาณ และทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวบรวมไว้เป็นข้อมูลทางสถิติ หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลทางสถิตินำมาวิเคราะห์ เมื่อนำทั้งสองวิธีมารวมกัน ก็สามารถที่จะหาแฟคเตอร์เบื้องต้นของการลดทอนของสัญญาณได้

4.4.1 วิธีการของ Hata สำหรับเซลขนาดเล็ก

วิธีการหาสมการการลดทอนของ Hata ได้ทำการพัฒนาจากวิธีการของ Okumura เพื่อทำให้การคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณได้ง่ายขึ้น ถึงแม้ว่ากราฟของ Okumura จะสามารถใช้งานได้จริงในภาคปฏิบัติและมีประสิทธิภาพสูงเมื่อทำการออกระบบ แต่ยังมีความยุ่งยากซับซ้อนในการเขียนโปรแกรมออกแบบระบบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ดังนั้น Hata จึงได้ทำการแก้ไขค่าพารามิเตอร์ต่างๆจากกราฟให้มาอยู่ในรูปของสมการล็อกการิทึ่ม

$$L(dB) = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_t - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_t)\log d + C_M \qquad (4.31)$$

โดย f เป็นความถี่ที่ใช้งาน

d เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ

h_t เป็นความสูงของสายอากาศส่งที่สถานีฐาน

h_m เป็นความสูงของสายอากาศรับที่ตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

C_M มีค่าเท่ากับ 0 dB สำหรับเมืองที่มีขนาดเล็กและบริเวณปริมณฑล และมีค่าเป็น 3 ภายในตัวเมือง

$a(h_m)$ เป็นแฟคเตอร์สำหรับแก้ไขค่าความสูงของสายอากาศของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เทียบกับสภาวะพื้นฐานที่เป็นเขตพื้นที่ในเมือง

ในเมืองขนาดเล็กและขนาดกลาง

$$a(h_m) = [1.1 \log f - 0.7]h_m - [1.56 \log f - 0.8] \qquad (4.32)$$

ในเมืองขนาดใหญ่

$$a(h_m) = 8.29\,[\log (1.54 h_m)^2] - 1.1 \qquad f \le 200\ MHz \qquad (4.33)$$

$$a(h_m) = 3.2\,[\log (11.75 h_m)^2] - 4.97 \qquad f \ge 400 MHz \qquad (4.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami

วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami เป็นวิธีการหาค่าสมการการลดทอนที่ใช้อาศัยทั้งการทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งรูปแบบของสมการการลดทอนของสัญญาณจะประกอบไปด้วยค่าการลดทอนผ่านสูญญากาศ การลดทอนเนื่องจากการหักเห และการลดทอนเนื่องจากระดับความสูงที่แตกต่างกันระหว่างหลังคาของอาคารสิ่งกีดขวางรอบๆตัวเครื่องโทรศัพท์ โดยวิธีการดังกล่าวได้พัฒนามาจากวิธีการของ Walfish วิธีการของ Bertoni และวิธีการของ Ikegami ซึ่งได้มีการทดลองเพิ่มเติมและเปรียบเทียบกับค่าระดับของสัญญาณที่วัดได้จริงในตัวเมือง โดยมีสภาวะเบื้องต้น ดังนี้

1. ความถี่ในการใช้งานอยู่ในช่วง 800 MHz ถึง 2000 MHz
2. ความสูงของสายอากาศส่ง (H_b) 4 ถึง 50 เมตร
3. ความสูงของสายอากาศรับหรือตัวเครื่องโทรศัพท์ (H_m) 1 ถึง 3 เมตร
4. ระยะทาง (d) 0.02 กิโลเมตรถึง 5 กิโลเมตร
5. กำหนดให้ความสูงของหลังคาตึกเป็น H_{roof} มีหน่วยเป็นเมตร
6. กำหนดให้ความกว้างของถนนเป็น w มีหน่วยเป็นเมตร
7. กำหนดให้ระยะห่างระหว่างตึกเป็น b มีหน่วยเป็นเมตร
8. กำหนดให้การจัดเรียงของถนนตามเส้นทางของคลื่นในแนวระดับเป็น *Phi*

วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami ประกอบด้วยสมการการลดทอนของสัญญาณใน 2 เส้นทางคือเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตาและในเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวางบดบัง ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณสำหรับเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง จะแสดงดังนี้

$$L_b = L_f + L_{rst} + L_{msd} \tag{4.35}$$

โดย L_f เป็นการลดทอนของสัญญาณเมื่อผ่านอากาศ มีค่าดังสมการ

$$L_f = 32.44 + 20 \log d + 20 \log f \tag{4.36}$$

L_{rts} เป็นการลดทอนของสัญญาณจากการหักเหและการกระเจิงจากหลังคาตึก

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log w + 10 \log f + 20 \log (H_r - H_m) + L_{cri} \tag{4.37}$$

L_{cri} เป็นการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการจัดเรียงของถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_{cri} = -10 + 0.35phi \qquad 0 \le phi \le 35 \text{ องศา} \tag{4.38}$$

$$L_{cri} = 2.5 + 0.075(phi - 35) \qquad 35 \le phi \le 55 \text{ องศา} \tag{4.39}$$

$$L_{cri} = 4 + 0.114(phi - 55) \qquad 55 \le phi \le 90 \text{ องศา} \tag{4.40}$$

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

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_d + k_d \log d + k_f \log f - 9 \log b \tag{4.41}$$

$$L_{bsh} = -18 \log (1 + H_b - H_{roof}) \qquad H_b > H_{roof} \tag{4.42}$$

$$L_{bsh} = 0 \qquad H_b \le H_{roof} \tag{4.43}$$

$$k_a = 54 \qquad H_b > H_{roof} \tag{4.44}$$

$$k_a = 54 - 0.8(H_b - H_{roof}) \qquad d \ge 0.5 \text{ และ } H_b \le H_{roof} \tag{4.45}$$

$$k_a = 54 - 0.8(H_b - H_{roof})(d/0.5) \qquad d < 0.5 \text{ และ } H_b \le H_{roof} \tag{4.46}$$

$$k_d = 18 \qquad H_b > H_{roof} \tag{4.47}$$

$$k_d = 18 - 15(H_b - H_{roof}) / H_{roof} \qquad H_b \le H_{roof} \tag{4.48}$$

$$k_f = -4 + 0.7\left(\frac{f}{925} - 1\right) \tag{4.49}$$

สำหรับตัวเมืองขนาดเล็กและบริเวณศูนย์กลางปริมณฑลที่มีต้นไม้พอประมาณ

$$k_f = -4 + 1.5\left(\frac{f}{925} - 1\right) \tag{4.50}$$

สำหรับศูนย์กลางของตัวเมือง

ในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา จะมีสมการการลดทอนของสัญญาณ ดังนี้

$$L_{LOS} = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f \tag{4.51}$$

4.4.3 วิธีการของ C.Y. Lee

วิธีการหาค่าการลดทอนโดยอาศัยการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด จะสามารถทำได้ด้วยการวัดระดับความแรงของสัญญาณเทียบกับระยะทางในพื้นที่ต่างๆและหาค่าระดับความแรงของสัญญาณเฉลี่ยที่มีการลดลงตามระยะทางในลักษณะของฟังก์ชั่นเชิงเส้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดทอนเฉลี่ยของสัญญาณและระยะทาง จะแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L(dB) = L_0 + 10\gamma \log (d/d_0) \quad (4.52)$$

โดย L คือ การลดทอนของสัญญาณที่ระยะทางใดๆ (d) มีหน่วยเป็นเดซิเบล L_o คือ การลดทอนของสัญญาณที่ระยะทางอ้างอิง (d_o) ในการสื่อสารระบบเซลลูล่าร์จะใช้ระยะทางอ้างอิงเป็น 1 กิโลเมตร หรือ 1 ไมล์ (จากหลักการของ Lee ในปี 1985) ส่วนระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีทีที่ใช้เทคนิคของเซลขนาดเล็กจะใช้ระยะทางอ้างอิงที่ระยะ 1 เมตร โดยการลดทอนของสัญญาณ L_o สำหรับระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีทีจะมีค่าเท่ากับ 38.0 dB (คำนวณได้จากสมการ 3.56) และค่า γ คือค่าความชันของการลดทอนของสัญญาณ ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันออกไปตามสภาพแวดล้อมของการแพร่กระจายคลื่น ดังแสดงในตารางที่ 4.1

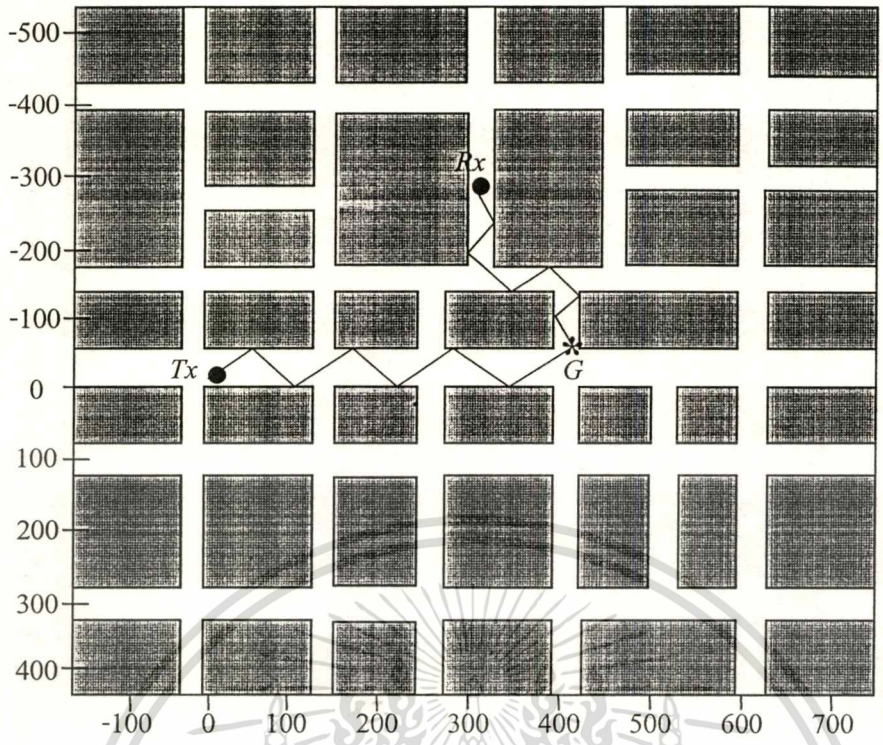
ตารางที่ 4.1 ความชันของสมการการลดทอนสำหรับสภาพแวดล้อมในพื้นที่ต่างๆ

สภาพแวดล้อม	ความชันของสมการการลดทอน
ในอากาศ	20
พื้นที่เขตตัวเมือง	27-40
พื้นที่เงาในเขตตัวเมือง	50-60
ภายในอาคารสำหรับการมองเห็นในระดับสายตา	16-18
ภายในอาคารที่มีสิ่งกีดขวาง	40-60
ภายในโรงงานที่มีสิ่งกีดขวาง	20-30

4.4.4 วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณโดยใช้หลักการ Ray tracing หลักการอิมเมจและหลักการ UTD

ในรูปที่ 4.7 จะแสดงเส้นทางการเดินทางของคลื่นที่ได้กำหนดขึ้น โดยตำแหน่งของสายอากาศส่งสัญญาณ (T_X) จะติดตั้งไว้ที่ความสูง h_t เมตรเหนือพื้นผิวถนนและมีระยะห่างจากผนังตึกที่ใกล้ที่สุดเป็น X_0 เมตร ส่วนสายอากาศรับสัญญาณหรือตัวเครื่องโทรศัพท์ (R_X)จะมีความสูงเป็น h_r เมตรเหนือพื้นผิวถนน โดยตำแหน่งของ R_X จะมีการเคลื่อนที่ไปตามถนนสายหลักและถนนสายรองที่ตั้งฉากและขนานกับถนนสายหลัก ซึ่งตำแหน่งต่างๆซึ่งประกอบด้วยค่าแอมปลิจูดตามแนวตั้งและค่าเฟสของค่าความแรงของสัญญาณจะนำไปหาค่ากำลังงานของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 เส้นทางการเดินทางของคลื่น

จากรูปที่ 4.7 แสดงเส้นทางการเดินทางของคลื่น โดยคลื่นจะเดินทางผ่านเส้นทางที่เกิดการสะท้อนเนื่องจากพื้นผิวถนนเพียงครั้งเดียว กำหนดให้ $T_1, T_2, T_3, \ldots, T_i, T_i^G, T_{i+1}, \ldots, T_j$ เป็นจุดอิมเมจ อันเนื่องมาจากการเกิดการสะท้อนจากเส้นทางการเดินทางของสัญญาณ โดยสัญลักษณ์ตัวห้อยจะแสดงให้เห็นว่าจุดอิมเมจเกิดขึ้นเป็นครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ตามลำดับต่อไปเรื่อยๆ และ T_i^G จะแสดงจุดอิมเมจอันเนื่องมาจากการสะท้อนของพื้นผิวถนนหลังจากที่มีการสะท้อนจากผนังมาแล้ว i ครั้งจาก T_X

กำหนดให้ใช้สัญลักษณ์

$$T_m = [X_m, Y_m, h_t] \quad \text{สำหรับ } m \le i \text{ และ } T_i^G = [X_i, Y_i, -h_t]$$

และ $T_m = [X_m, Y_m, -h_t]$ สำหรับ $m = i+1, i+2, \ldots, j$

เมื่อ j เป็นจำนวนครั้งที่เกิดการสะท้อนเนื่องจากผนัง

$[X_m, Y_m]$ เป็นตำแหน่งของอิมเมจบนแผนที่ซึ่งหาได้โดยใช้หลักการอิมเมจ

ในการหา $T_1, T_2, T_3, \ldots, T_i, T_i^G, T_{i+1}, \ldots, T_j$ จากตำแหน่ง $[X_m, Y_m]$ เราจะต้องทำการอธิบายลำดับของการสะท้อน เช่น ตำแหน่งใดเป็นตำแหน่งที่เกิดการสะท้อน อันเนื่องมาจากพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิวถนน เป็นต้น ซึ่งจุดอิมเมจ $T_1, T_2, T_3, \ldots, T_i, T_i^G, T_{i+1}, \ldots, T_j$ ต่างๆเหล่านี้ เป็นจุดอิมเมจที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นเดียวกันสำหรับการสะท้อนหลายๆครั้งที่ผนังและพื้นผิวถนน

สำหรับการหักเหที่เกิดขึ้นบริเวณมุมตึก สามารถอธิบายได้ด้วยรัศมีผ่านการสะท้อนหลายๆครั้ง ก่อนที่จะเกิดการหักเหที่จุด B_C จากกฎของการหักเห เมื่อคลื่นตกกระทบสิ่งกีดขวาง จะทำให้เกิดการหักเหและคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นก็มีจำนวนมากเป็นอินฟินิตี้ ซึ่งการเดินทางของคลื่นที่เกิดขึ้นเหล่านี้ไปยัง R_X จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ R_X ซึ่งมีความสัมพันธ์ T_j และ B_C จุดที่เกิดการหักเหอย่างแท้จริง หรือจุด Q_e ที่มุมตึก B_C จะสามารถอธิบายได้โดยการใช้ทฤษฎีเบื้องต้นของ Fermat

ในกรณีที่มีการหักเหของคลื่นเกิดขึ้นระหว่างจุด S หรือจุดอิมเมจ T_j และจุด P หรือ R_X เมื่อลากเส้นระหว่าง 2 จุดแล้วจะได้เส้นโค้งที่มีจุดหักเหอยู่ที่บริเวณที่มีการหักเหของคลื่น กำหนดให้ $Q_e = [X_e, Y_e, Z_e]$ โดย Z_e เป็นตัวแปรในการอธิบายความสูงของตำแหน่งที่มีการหักเหบริเวณ B_C ค่าของ X_e และ Y_e จะรู้ได้โดยการบอกตำแหน่งของ B_C สำหรับค่า Z_e สามารถอธิบายได้โดยการเขียนระยะห่างระหว่างจุด S และจุด P ด้วยจุดเพียงจุดเดียวบน B_C ในเทอมของ Z_e เช่น $D_{SP}(Z_e) = SQ_e(Z_e) + Q_eP(Z_e)$ โดยค่าราก (Derivative) ของ D_{SP} ที่สัมพันธ์กับ Z_e มีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้นจึงสามารถหาค่าของ Z_e ได้ ในทางกลับกันจุดที่เกิดการหักเห Q_e ก็สามารถหาได้โดยกฎของการหักเห สำหรับลำดับย่อยของการสะท้อนที่เกิดจากผนังและพื้นผิวถนน หลังจากการหักเห จะใช้ทฤษฎีเบื้องต้นของ Fermat ในการอธิบายจุดที่เกิดการสะท้อนและหักเห

อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบของการสะท้อนและการหักเห จะใช้ในการอธิบายระดับความแรงของสัญญาณที่เกิดขึ้นในถนนรองที่ตั้งฉากและขนานกับถนนสายหลัก เราพบว่าองค์ประกอบของการสะท้อนและการหักเหจะขึ้นอยู่กับ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับสี่แยกของถนน นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับความกว้างของถนนสายหลักและถนนสายรองทั้งที่ตั้งฉากและขนานกับถนนสายหลัก ประโยชน์ของหลักการอิมเมจก็คือ สามารถที่จะอธิบายจุดที่เกิดการสะท้อนที่แท้จริงบริเวณผนังและพื้นผิวถนน ในกรณีที่เป็นการหักเห ตำแหน่งของจุดที่มีการหักเหจะอยู่บริเวณขอบของสิ่งกีดขวาง สำหรับการสะท้อนหรือการหักเหที่เกิดขึ้นที่จุด Q กำลังงานของคลื่นตกกระทบ $E^i(Q)$ จะก่อให้เกิดกำลังงาน $E^{r,d}(s)$ ที่จุด S เมื่อ

$$E^{r,d}(s) = E^i(Q).H(Q,S).e^{-jks} \tag{4.53}$$

$$\begin{aligned} H(Q,S) &= R.A_s && \text{สำหรับการสะท้อน} \\ H(Q,S) &= D.A_d && \text{สำหรับการหักเห} \end{aligned} \tag{4.54}$$

โดย R เป็นสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนทั้งแนวตั้งและแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E^r(s) = E^i(Q)R.A_s(s)e^{-jks} \tag{4.55}$$

$$R = R_h e^{i\perp} e^{r\perp} + R_v e^{i/\!/} e^{r/\!/} \tag{4.56}$$

A_s เป็นแฟคเตอร์การแพร่กระจายสำหรับการสะท้อนจากพื้นผิว

k เป็นค่าคงที่ของการแพร่กระจายคลื่น มีค่าเท่ากับ $2\pi/\lambda$

s เป็นระยะทางจากจุด Q ไปยังจุด S

λ เป็นความยาวคลื่น

$$A_s(s) = \frac{\rho}{(s+\rho)} \tag{4.57}$$

$$R_h(\varphi, \varepsilon) = \frac{\sin(\varphi) - \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}}{\sin(\varphi) + \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}} \tag{4.58}$$

$$R_v(\varphi, \varepsilon) = \frac{\varepsilon \sin(\varphi) - \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}}{\varepsilon \sin(\varphi) + \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}} \tag{4.59}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_r - j60\sigma\lambda \tag{4.60}$$

ρ เป็นรัศมีของเส้นโค้งของหน้าคลื่นที่มีการสะท้อน

$$E^d(s) = E^i(Q)D.A_d(s)e^{-jks} \tag{4.61}$$

A_d เป็นแฟคเตอร์การแพร่กระจายสำหรับการหักเหที่ขอบสิ่งกีดขวาง

$$A_d = \sqrt{\frac{\rho}{s(\rho + s)}} \tag{4.62}$$

D เป็นสัมประสิทธิ์ของการหักเหทั้งแนวตั้งและแนวนอน

$$D = -D_h \beta_0' \beta_0 - D_v \phi' \phi \tag{4.63}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_{v,h}((L,\phi,\phi',\beta_0,n) = D_1 + D_2 + R_{v,h}(D_3 + D_4) \tag{4.64}$$

$$D_1 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k}\sin(\beta_0)}\cot\left[\frac{\pi+(\phi-\phi')}{2n}\right]F[kLa^{+}(\phi-\phi')] \tag{4.65}$$

$$D_2 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k}\sin(\beta_0)}\cot\left[\frac{\pi-(\phi-\phi')}{2n}\right]F[kLa^{-}(\phi-\phi')] \tag{4.66}$$

$$D_3 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k}\sin(\beta_0)}\cot\left[\frac{\pi+(\phi+\phi')}{2n}\right]F[kLa^{+}(\phi-\phi')] \tag{4.67}$$

$$D_4 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k}\sin(\beta_0)}\cot\left[\frac{\pi-(\phi+\phi')}{2n}\right]F[kLa^{-}(\phi+\phi')] \tag{4.68}$$

$$L = \frac{ss'}{(s+s')}\sin^2(\beta_0) \tag{4.69}$$

s เป็นระยะทางจากจุด Q ไปยังจุด S

s' เป็นระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นไปยังจุด Q

$$F(x) = 2j\sqrt{x}\int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-ju^2}du \tag{4.70}$$

$$F(x) = F^*(|x|) \qquad \text{เมื่อ } x < 0 \tag{4.71}$$

$$a^{\pm}(\beta^{\pm}) = 2\cos^2\left(\frac{2\pi nN^{+} - \beta^{\pm}}{2}\right) \tag{4.72}$$

$$\beta^{\pm} = \phi \pm \phi' \tag{4.73}$$

$N^{\pm}$ เป็นอินทิกรัลที่เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2\pi nN^{+} - (\phi \pm \phi') = \pi$$
$$2\pi nN^{-} - (\phi \pm \phi') = -\pi \qquad (4.74)$$

โดย $n = \dfrac{2\pi - \alpha}{\pi}$ และ $\alpha = \dfrac{\pi}{2}$

สายอากาศส่งและรับสัญญาณ เป็นสายอากาศแบบไดโพล ซึ่งมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นและมีการโพลาไรซ์ คือ $E_i sin(\theta)\left(\dfrac{e^{-jkr}}{r}\right)\theta$ โดยกำลังงานที่รับได้ จะแสดงดังสมการ

$$P_r = A.S = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi}\left|\frac{Er}{Z_0}\right|^2 = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 \left|\frac{E_r}{E_i}\right|^2 \qquad (4.75)$$

เมื่อ

$E_i = \sqrt{(\eta_0/4\pi)P_t G_t}$

$\eta_0 = \sqrt{\mu/\varepsilon} \approx 120\pi$ เป็นค่าความต้านทาน

$P_{t,r}$ เป็นกำลังงานในการส่งและรับสัญญาณ ตามลำดับ

$G_{t,r}$ เป็นค่าเกนหรือกำลังขยายในการส่งและรับสัญญาณ ตามลำดับ

A แอมปลิจูดของสายอากาศ

S ความหนาแน่นของกำลังงาน

E_r สนามไฟฟ้าที่ตัวรับสัญญาณ RX

θ มุมโพล่าร์

$sin(\vartheta)$ เป็นรูปแบบของสายอากาศ

ดังนั้น ค่าการลดทอนของสัญญาณจะสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L = \frac{P_r}{P_t G_t G_r} = 20log\left|\frac{\lambda}{4\pi G_t G_r}\cdot\frac{E_r}{E_i}\right| \qquad (4.76)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
พื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสาร แบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที

5.1 วิธีการที่ใช้ในการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำออกแบบโปรแกรมในการคำนวณหาพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที โดยใช้หลักการ Ray tracing หลักการอิมเมจและหลักการ UTD ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณจะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$L = \frac{P_r}{P_t G_t G_r} = 20log\left|\frac{\lambda}{4\pi G_t G_r}.\frac{E_r}{E_i}\right| \quad (5.1)$$

$$E^{r,d}(s) = E^i(Q).H(Q,S).e^{-jks} \quad (5.2)$$

$$H(Q,S) = R.A_s \quad (5.3)$$

$$H(Q,S) = D.A_d \quad (5.4)$$

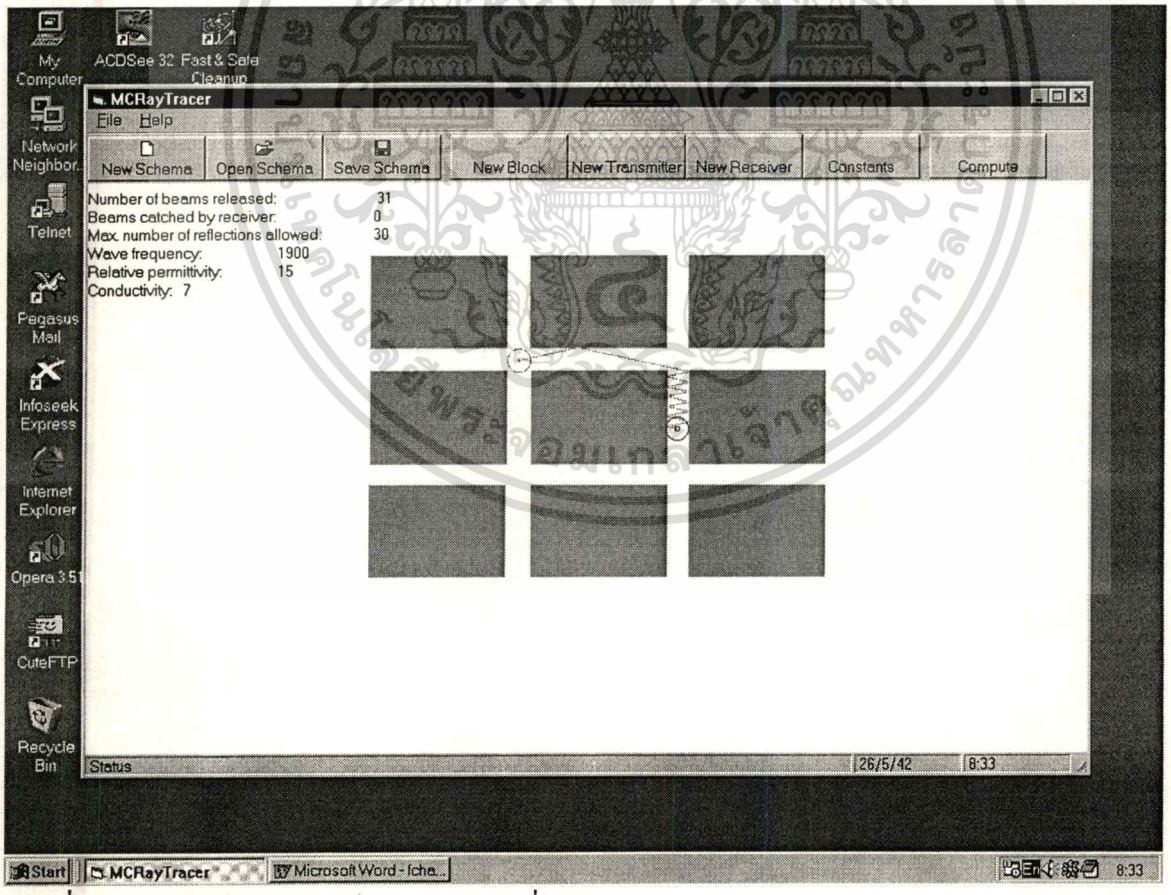
โดยค่า E_i เป็นกำลังงานของสายอากาศส่ง หรือกำลังส่งของเซลสเตชั่น และค่า E_r เป็นกำลังงานรวมทั้งหมดที่สายอากาศรับหรือกำลังงานรวมที่ตัวเครื่องโทรศัพท์รับได้ โดยเป็นผลรวมกันแบบเวคเตอร์ของกำลังงานทั้งหมดที่ได้จากรัศมี (Ray) ในทิศทางต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นกำลังงานของรัศมีที่ได้จากการสะท้อนของคลื่น ($E^{r,d}(s) = E^i(Q).H(Q,S).e^{-jks}$) หรือกำลังงานของรัศมีที่ได้จากการหักเหของคลื่น ($E^d(s) = E^i(Q)D.A_d(s)e^{-jks}$) ค่า s เป็นระยะทางระหว่างจุดที่เกิดการหักเหไปยังจุดใดๆ ค่าคงที่ k เป็นค่าคงที่ของการแพร่กระจายคลื่น สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (R) ค่าสัมประสิทธิ์การหักเห (D) แฟคเตอร์การแพร่กระจายคลื่นสำหรับการสะท้อนจากพื้นผิว (A_s) และแฟคเตอร์การแพร่กระจายคลื่นสำหรับการหักเหที่สิ่งกีดขวาง (A_d) จะแสดงดังบทที่ 4 และกำหนดค่าพารามิเตอร์ไว้ดังนี้

1. ใช้ความถี่ในย่าน 1900 MHz
2. ความสูงของเซลสเตชั่นเท่ากับ 5 เมตร
3. ความสูงของตัวเครื่องโทรศัพท์เท่ากับ 1.5 เมตร
4. ค่าเพอมิตติวิตี้ (ε) และค่าการนำไฟฟ้า (σ) เท่ากับ 15 และ 7 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

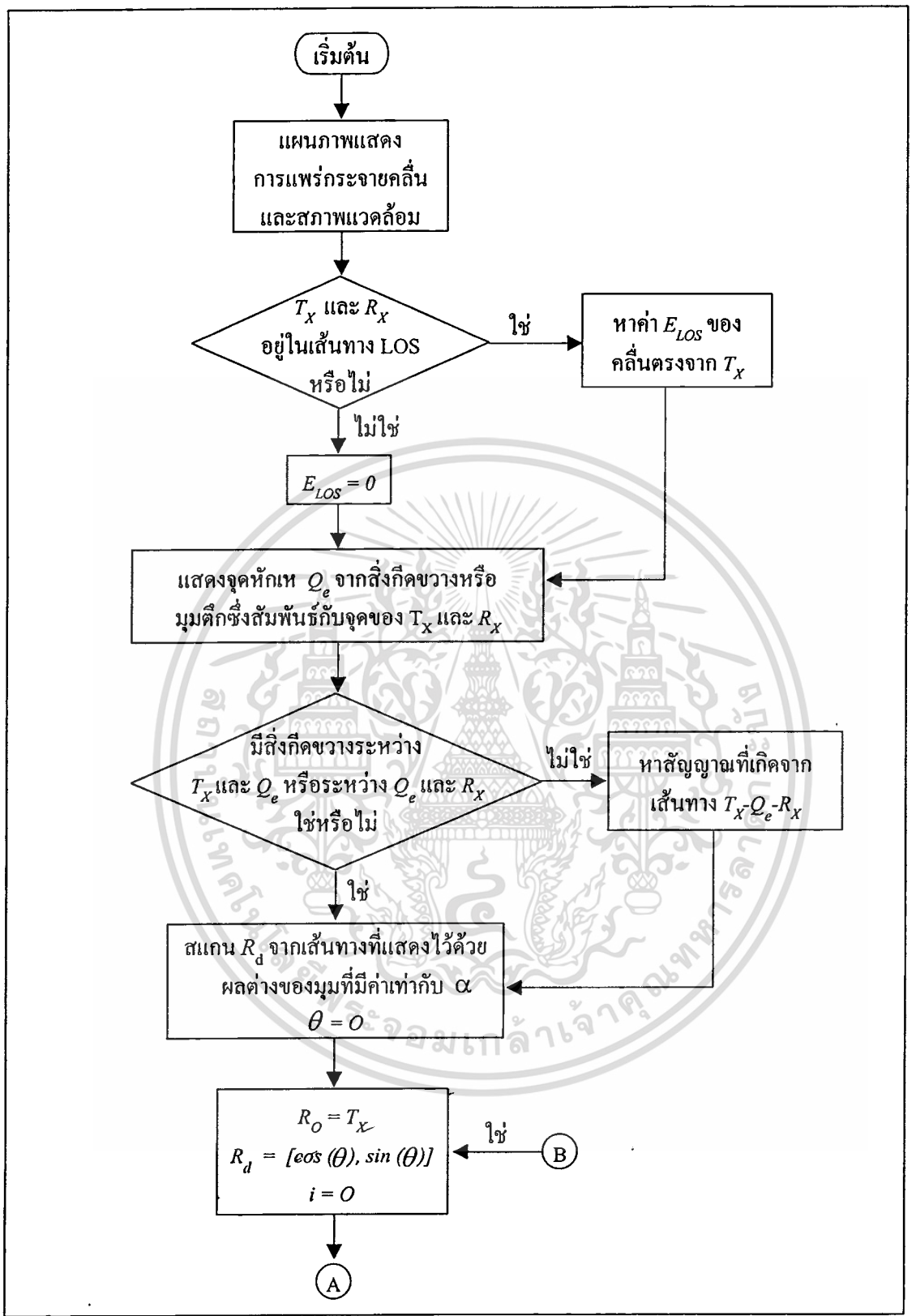
5.2 ผลของการคำนวณโดยใช้โปรแกรม

โปรแกรมในการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ เพื่อที่จะหาขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะใช้ภาษา Visual basic เวอร์ชั่น 5.0 โดยหน้าต่างของโปรแกรมจะแสดงดังรูปที่ 5.1 ในการใช้งานโปรแกรมนั้น เมื่อเริ่มต้นใช้งานจะปรากฏเมนูบาร์สำหรับเลือกใช้งานโปรแกรม ในเมนูบาร์จะมีเมนูสำหรับเลือกใช้งานอยู่ 8 เมนู คือเมนู New Schema สำหรับการเริ่มต้นใช้งานไฟล์ใหม่ เมนู Open Schema สำหรับเปิดไฟล์ที่ต้องการใช้งาน เมนู Save Schema สำหรับแก้ไขงานในไฟล์ต่างๆ เมนู New Block สำหรับการกำหนดขนาดความกว้าง ความยาวและความสูงของอาคาร เมนู New Transmitter สำหรับกำหนดค่าความสูงและเลือกตำแหน่งของสายอากาศส่งสัญญาณหรือเซลสเตชั่น เมนู New Receiver สำหรับกำหนดค่าความสูงและเลือกตำแหน่งของสายอากาศรับสัญญาณหรือตัวเครื่องโทรศัพท์ เมนู Constants สำหรับกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และเมนู Compute สำหรับการคำนวณหาเส้นทางการเดินทางของคลื่นเพื่อนำไปหาค่าการลดทอนของสัญญาณ โดยจะมีการแสดงผลของค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นต่างๆดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สำหรับลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจะแสดง ดังรูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3



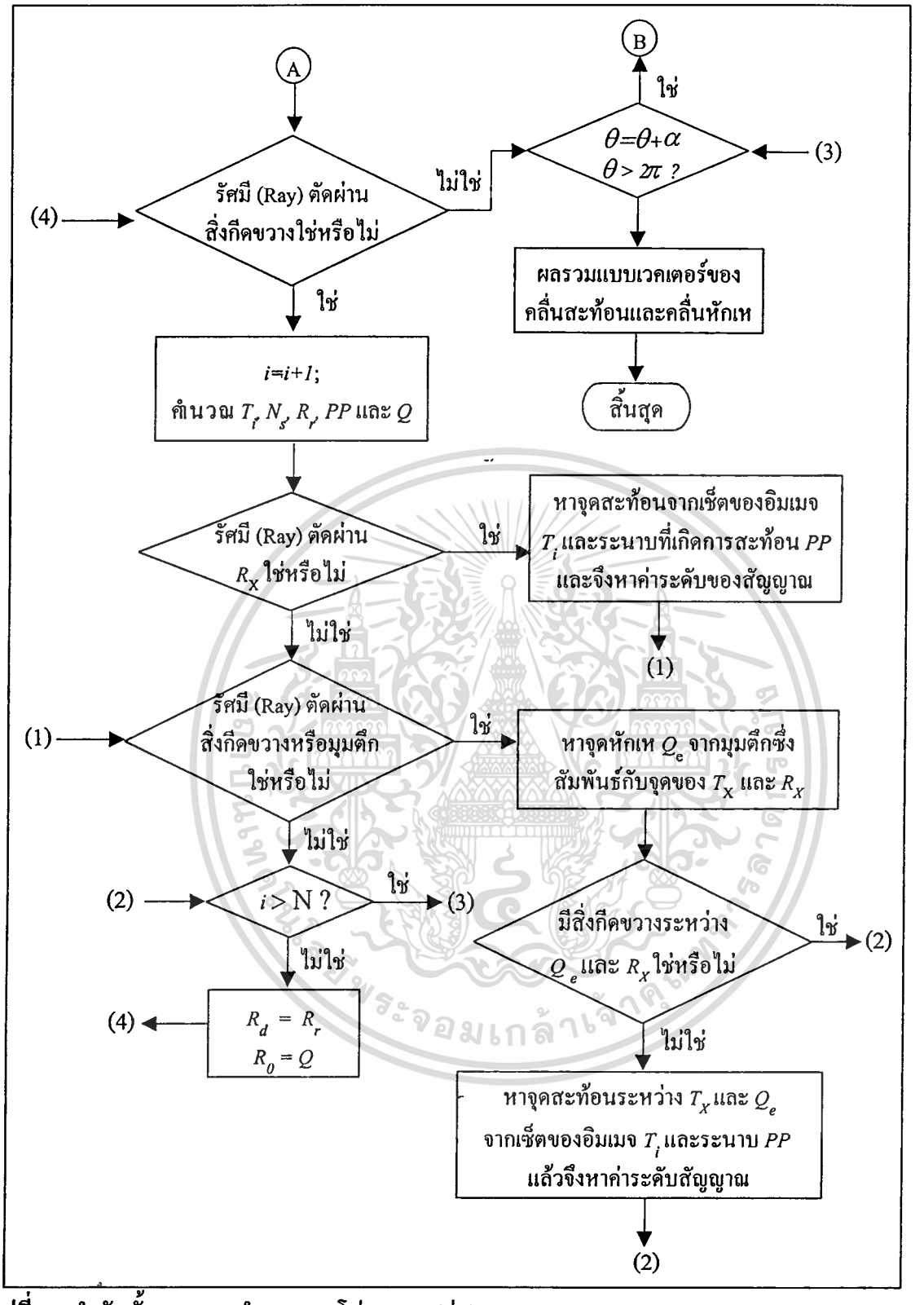
รูปที่ 5.1 หน้าต่างและเมนูบาร์ของโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



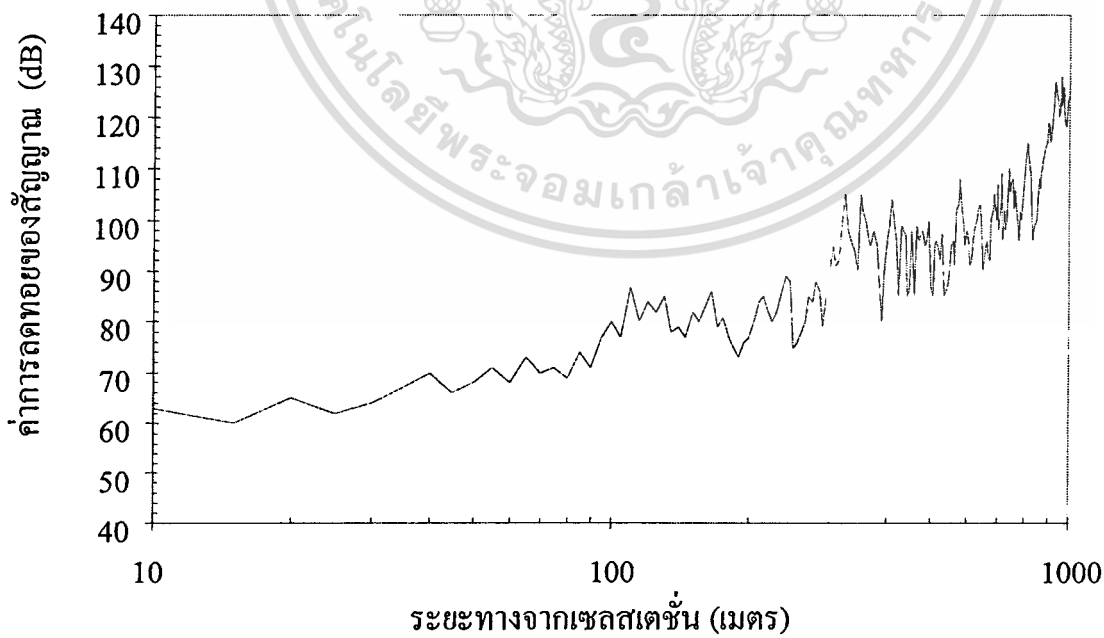
รูปที่ 5.3 ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม (ต่อ)

ลักษณะการทำงานของโปรแกรมจะเป็นการรวมคลื่นทั้งหมดแบบเวคเตอร์ที่สามารถรับได้ที่ตำแหน่งของสายอากาศรับสัญญาณ (R_X) หรือตัวเครื่องโทรศัพท์ หลักการของ UTD จะทำการพิจารณาคลื่นเดี่ยวในเวลาหนึ่งๆจากนั้นจึงทำการรวมคลื่นทั้งหมดในเวลาใดๆแบบเวคเตอร์คือรวมทั้งขนาดและ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟสของคลื่นแต่ละคลื่นไม่ว่าจะเป็นคลื่นที่เกิดจากการสะท้อนหรือคลื่นที่เกิดจากการหักเห โดยทั่วไปแล้วคลื่นที่สามารถรับได้ที่ R_X จะกำหนดให้ j เป็นจำนวนคลื่นที่เกิดจากการสะท้อนเนื่องจากผนังจากถนนหลักและถนนรองที่ทำมุมฉากและขนานกับถนนหลัก ซึ่งโปรแกรมจะทำการออกแบบเส้นทางการเดินทางของคลื่นว่าตกกระทบผนัง พื้นถนนหรือเกิดการหักเหที่มุมตึกเป็นจำนวนกี่ครั้ง จากนั้นจึงทำการเก็บตำแหน่งจุดที่เกิดการสะท้อนและหักเหแต่ละครั้งและจึงนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณทั้งหมด

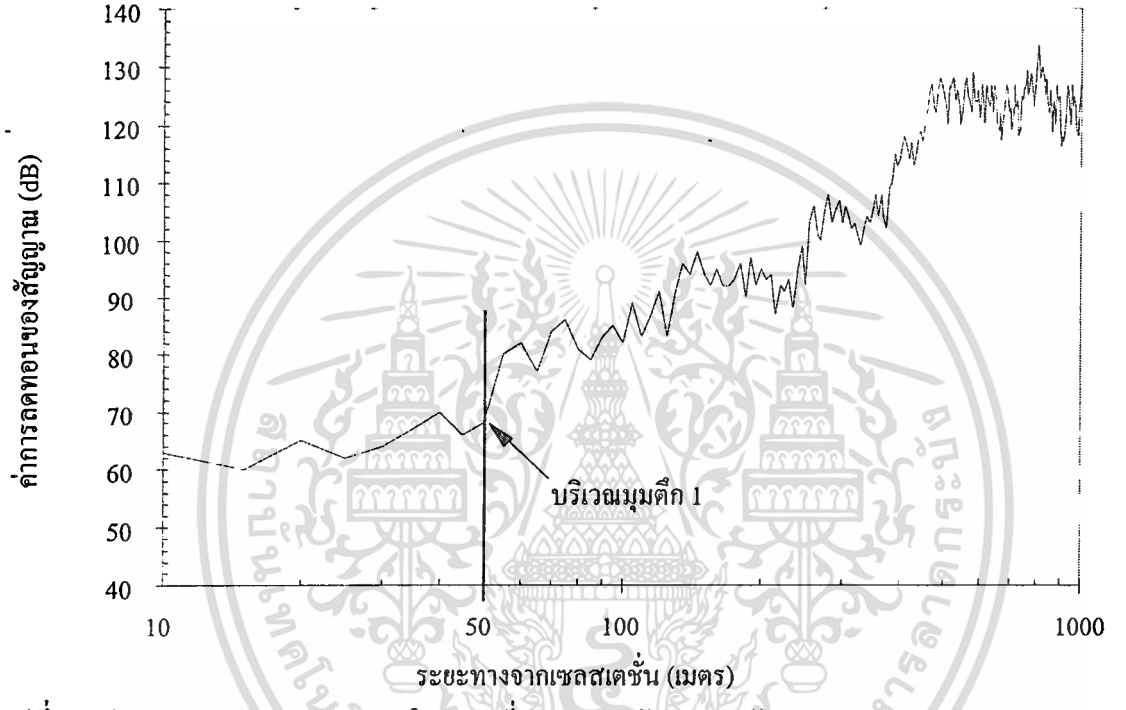
จากโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบทำให้สามารถคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณได้ โดยในขั้นตอนแรกจะทำการออกแบบสภาพแวดล้อม อันได้แก่ ความยาว ความกว้างและความสูงของตึก ความกว้างของถนนหลักและถนนรองให้มีลักษณะใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจริงที่ได้ทำการทดลองวัดค่าการลดทอนของสัญญาณ โดยในที่นี้จะทำการทดลองที่บริเวณสี่แยกสุทธิสารในถนนรัชดาภิเษก เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์พื้นฐานต่างๆ โดยการเลือกในเมนูของโปรแกรมที่ได้ออกแบบ หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณหาเส้นทางการเดินทางของคลื่นและจุดที่เกิดการสะท้อนและการหักเห ด้วยหลักการอิมเมจซึ่งจะใช้การหาตำแหน่งหรือจุดตัดของคลื่นและวัตถุ โดยเราจะกำหนดให้คลื่นมีสมการเป็น $\overrightarrow{R(\rho)} = \overrightarrow{R_0}+\overrightarrow{R_d}\,\rho$ ค่า $\overrightarrow{R_0}$ เป็นเวคเตอร์ที่แทนจุดกำเนิดคลื่น ค่า $\overrightarrow{R_d}$ เป็นเวคเตอร์หนึ่งหน่วยในการแสดงทิศทางของคลื่นและ ρ $(\rho>0)$ เป็นระยะห่างจากจุดกำเนิดคลื่น โดยการเส้นทางการเดินทางของคลื่นจะกวาดไปเป็นมุม 360 องศา ซึ่งผลของค่าการลดทอนของสัญญาณที่ตัวเครื่องโทรศัพท์ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบแสดงไว้ในรูปที่ 5.4 รูปที่ 5.5 และรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.4 ค่าการลดทอนของสัญญาณในถนนหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.4 แสดงค่าการลดทอนของสัญญาณในเส้นทางที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง หรือเป็นเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา (LOS : Line-of-Sight) ซึ่งเป็นบริเวณถนนที่มีเซลสเตชั่นติดตั้งอยู่ โดยค่าการลดทอนของสัญญาณที่เกิดขึ้นจะเป็นผลอันเนื่องมาจากคลื่นตรงและคลื่นสะท้อน ซึ่งค่าการลดทอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยอื่นๆมีค่าน้อยมาก และรัศมีของการแพร่กระจายคลื่นของเซลสเตชั่นขนาด 200 mW จะมีค่าเท่ากับ 310 เมตร

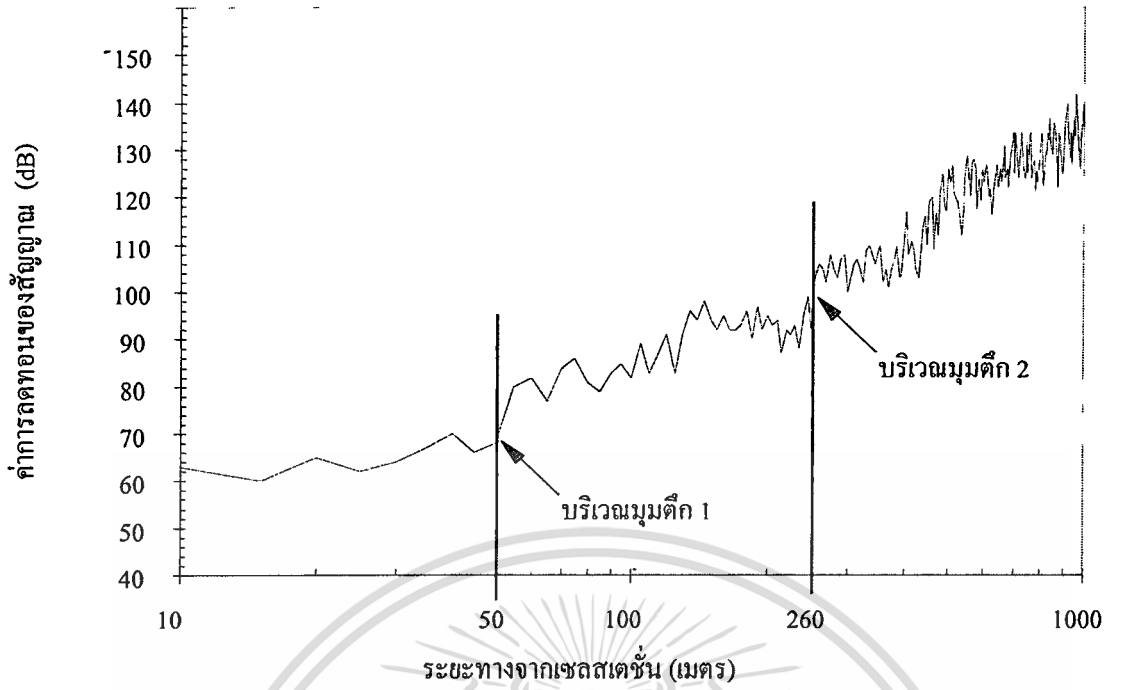


รูปที่ 5.5 ค่าการลดทอนของสัญญาณในถนนที่ทำมุมฉากกับถนนหลัก

รูปที่ 5.5 แสดงค่าการลดทอนของสัญญาณในถนนรองที่ตั้งฉากกับถนนสายหลัก โดยเส้นทางการเดินทางของคลื่น ประกอบด้วยเส้นทางในสภาวะการมองเห็นในระดับสายตาและเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวางคือมุมตึกที่ระยะ 50 เมตร จะเห็นว่าการลดทอนของสัญญาณจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีการเดินทางเข้าไปยังถนนรองที่ทำมุมฉากกับถนนหลักหรือมีการเลี้ยวผ่านมุมตึกไปยังถนนรอง ซึ่งค่าการลดทอนที่เกิดขึ้นเป็นผลอันเนื่องมาจากคลื่นสะท้อนจากทิศทางต่างๆจากถนนหลักสู่ถนนรองและการลดทอนอันเนื่องมาจากการหักเหของคลื่นบริเวณมุมตึก

ในรูปที่ 5.6 แสดงค่าการลดทอนของสัญญาณในถนนที่ขนานกับถนนหลัก เส้นทางการเดินทางของคลื่นประกอบด้วยเส้นทางในสภาวะการมองเห็นในระดับสายและเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวางเช่นเดียวกับรูปที่ 5.5 ค่าการลดทอนของสัญญาณจะมีค่ามากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นค่าการลดทอนที่เกิดจากการสะท้อนเนื่องจากสิ่งกีดขวางต่างๆ รวมทั้งการลดทอนจากการหักเหที่มุมตึกแต่ละครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



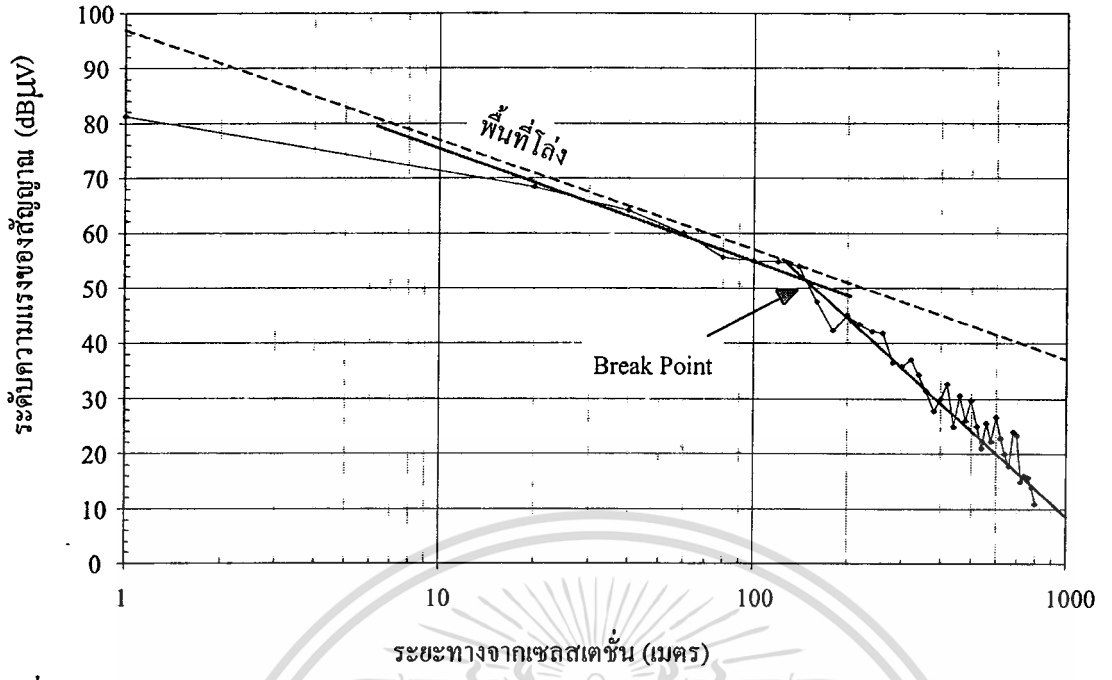
รูปที่ 5.6 ค่าการลดทอนของสัญญาณในถนนที่ขนานกับถนนหลัก

5.3 ผลของการทดลองในพื้นที่จริง

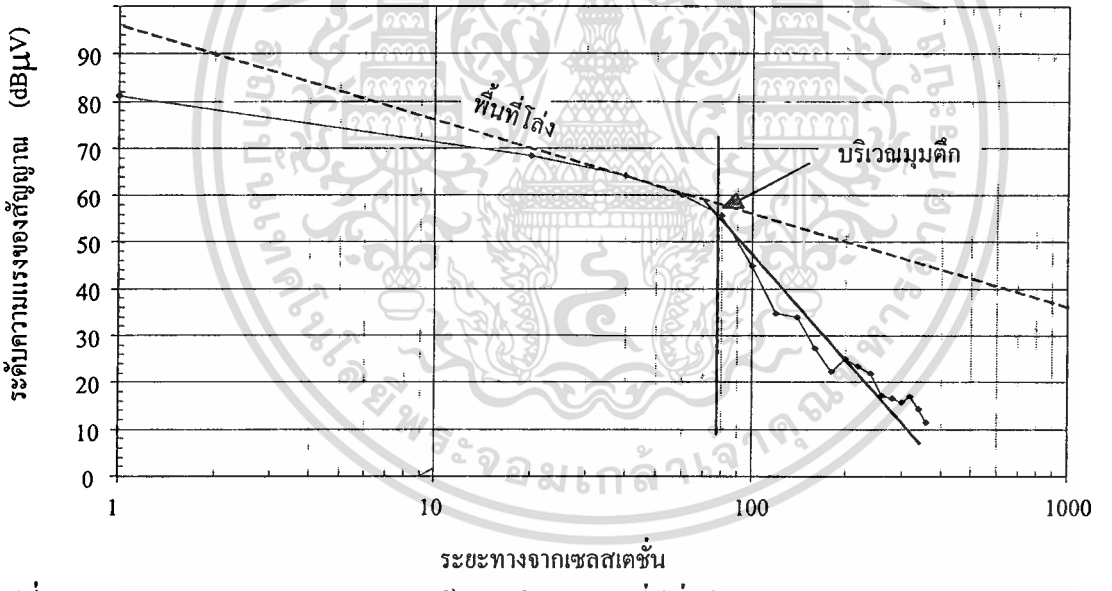
ในการทดลองจะทำการวัดสัญญาณในพื้นที่ให้บริการ 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่เขตชานเมืองบริเวณถนนรัชดาภิเษก พื้นที่เขตนอกเมืองบริเวณถนนบางนา-ตราดและพื้นที่เขตในเมืองบริเวณถนนสีลม โดยทำการวัดสัญญาณแบบจุดต่อจุดด้วย LEADER PHS Filed Analyzer LF 960 ในขั้นแรกจะทำการทดสอบเซลสเตชั่น เพื่อศึกษาการแพร่กระจายคลื่นของคลื่นในย่านความถี่ 1900 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ใช้งานของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีในสองเส้นทาง คือเส้นทางในสภาวะการมองเห็นในระดับสายตาและเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง ผลการทดลองที่ได้จะแสดงในรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 ตามลำดับ

ในรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 แสดงระดับความแรงของสัญญาณสำหรับเส้นทางในสภาวะการมองเห็นในระดับสายตาและเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง โดยจะเห็นว่าในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตานั้น ค่าระดับความแรงของสัญญาณจะมีค่าใกล้เคียงกับระดับความแรงของสัญญาณในพื้นที่โล่ง ซึ่งมีรัศมีของการแพร่กระจายคลื่นเท่ากับ 400 เมตร ส่วนในเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง เช่น บริเวณมุมตึก ระดับความแรงของสัญญาณจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



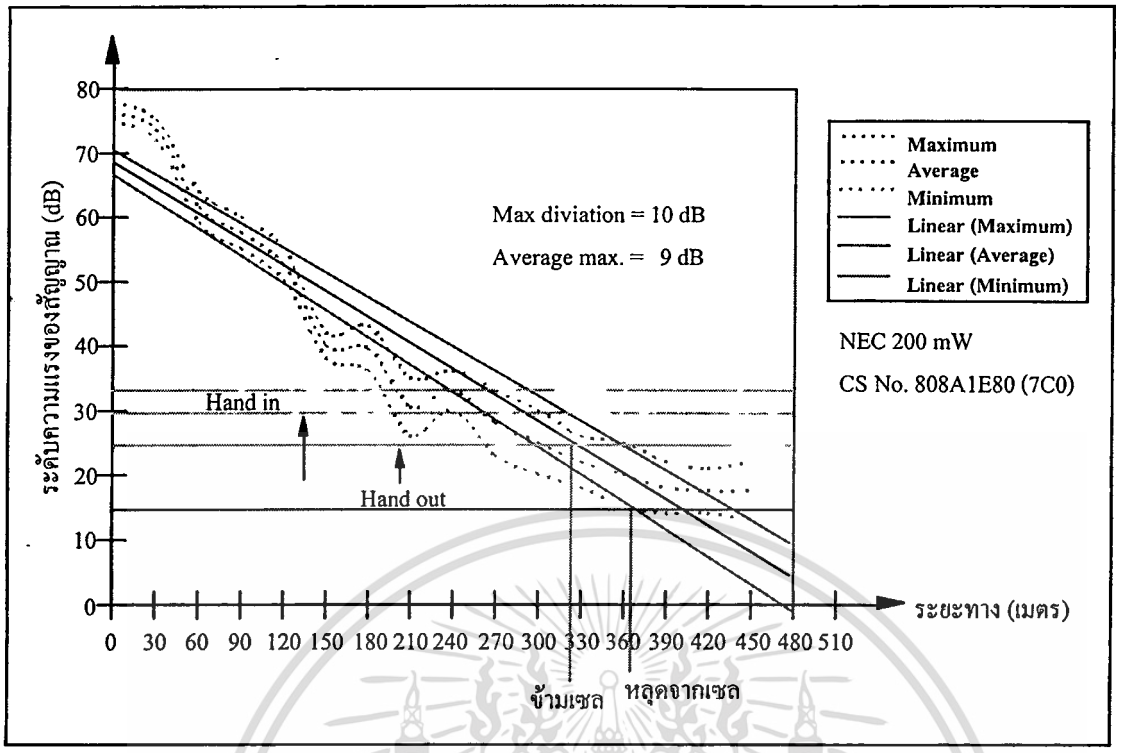
รูปที่ 5.7 ความแรงของสัญญาณสำหรับเส้นทางในสภาวะการมองเห็นในระดับสายตา



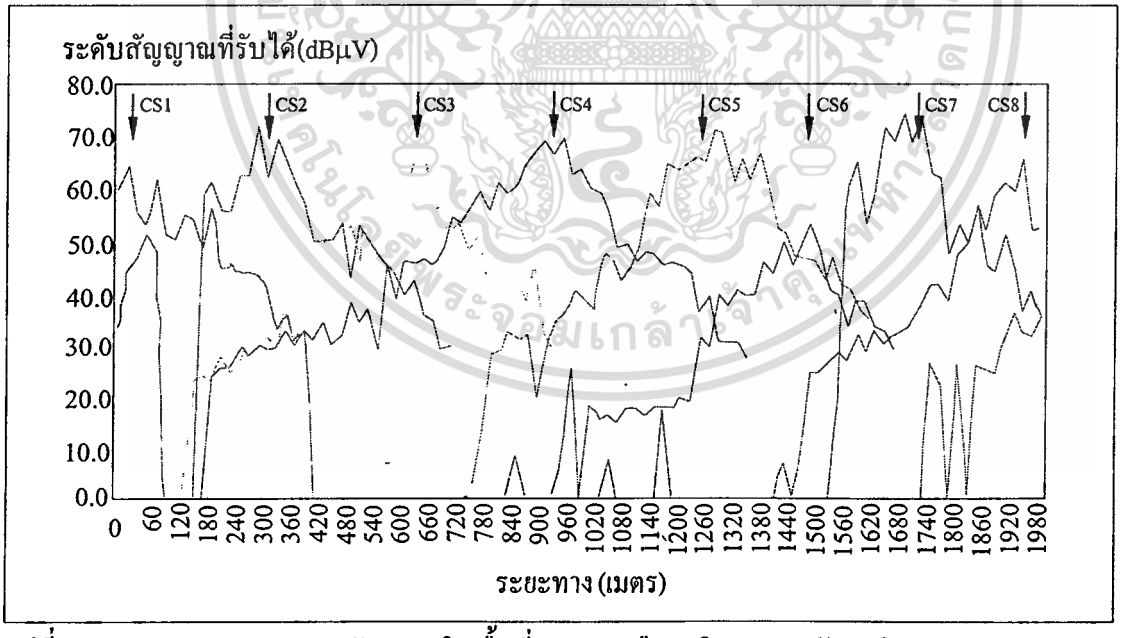
รูปที่ 5.8 ความแรงของสัญญาณสำหรับเส้นทางในสภาวะที่มีสิ่งกีดขวาง

รูปที่ 5.9 จะแสดงถึงกระบวนการแฮนด์โอเวอร์ของเซลสเตชั่นขนาด 200 mW โดยกำหนดให้แฮนด์โอเวอร์อิน (เกิดการข้ามเซล) มีค่าเท่ากับ 30 dB และแฮนด์โอเวอร์เอาท์ (หลุดจากเซล) มีค่าเท่ากับ 16 dB ซึ่งรัศมีของการแพร่กระจายคลื่นจะมีค่าประมาณ 300-330 เมตร หลังจากนั้นจึงทำการวัดสัญญาณแบบจุดต่อจุดโดยระยะห่างของแต่ละจุดมีค่าเท่ากับ 10 เมตรในพื้นที่ให้บริการทั้ง 3 พื้นที่ อันได้แก่ ถนนรัชดาภิเษก ถนนบางนา-ตราดและถนนสีลม ซึ่งผลที่ได้จะแสดงในรูปที่ 5.10 รูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

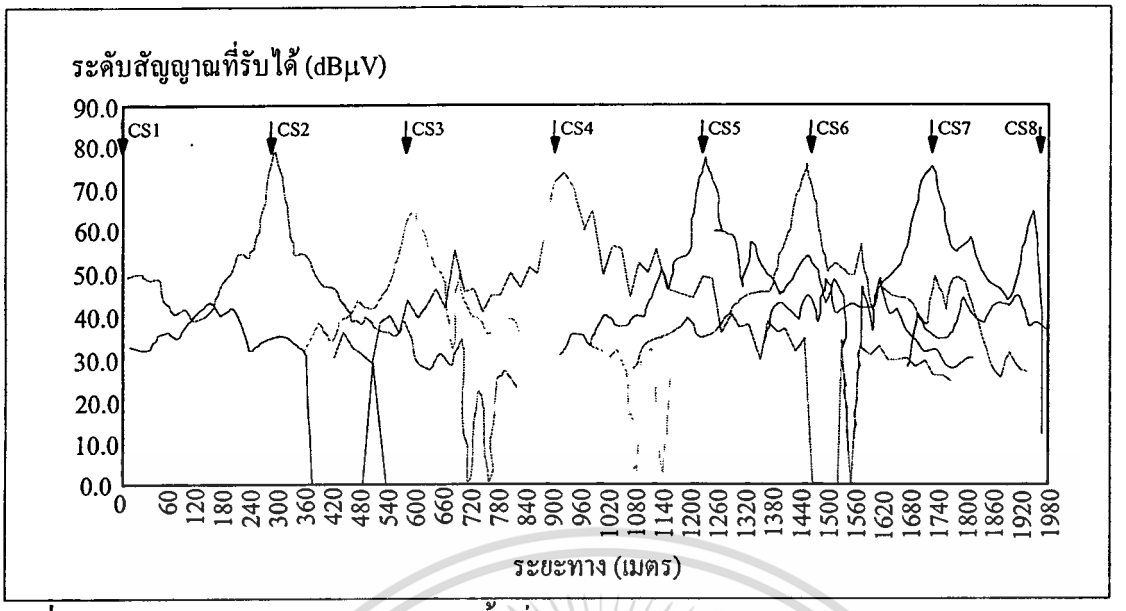


รูปที่ 5.9 คุณสมบัติการแพร่กระจายคลื่นของเซลสเตชั่นขนาด 200 mW

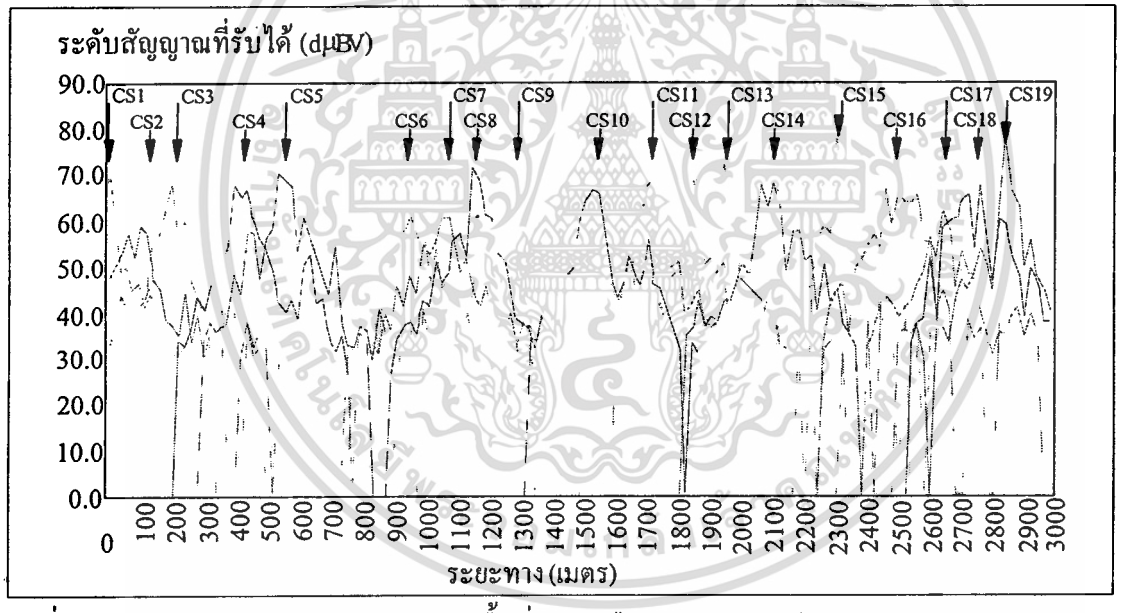


รูปที่ 5.10 ระดับความแรงของสัญญาณในพื้นที่เขตชานเมืองบริเวณถนนรัชดาภิเษก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ระดับความแรงของสัญญาณในพื้นที่เขตนอกเมืองบริเวณถนนบางนา-ตราด

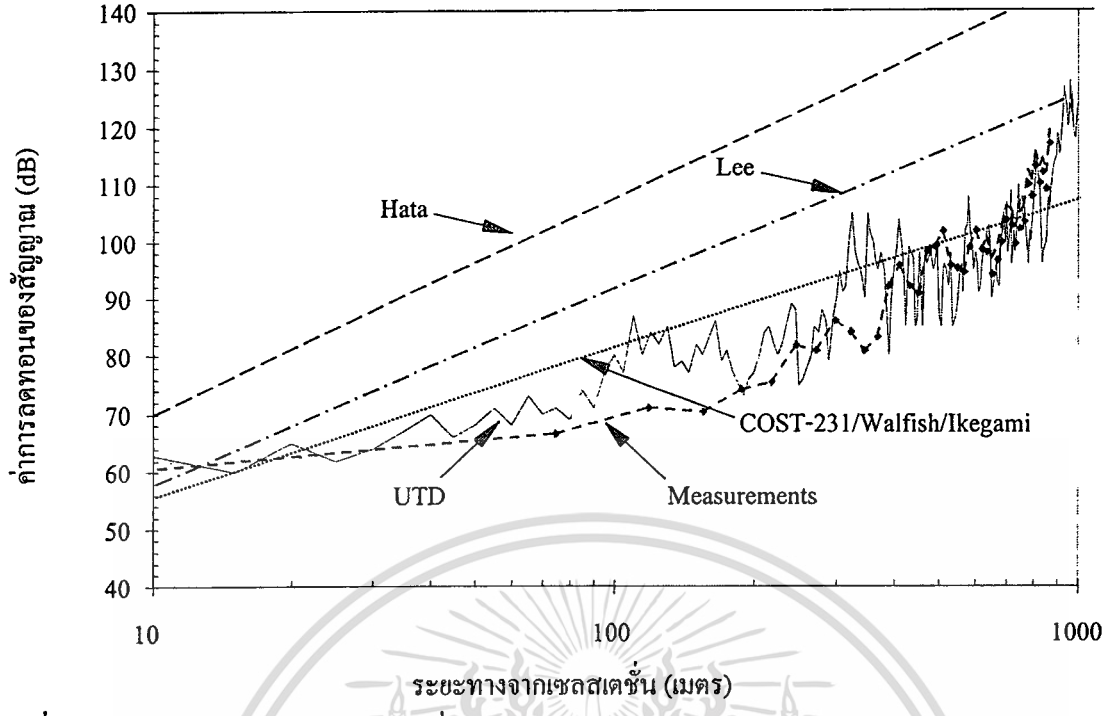


รูปที่ 5.12 ระดับความแรงของสัญญาณในพื้นที่ในตัวเมืองบริเวณถนนสีลม

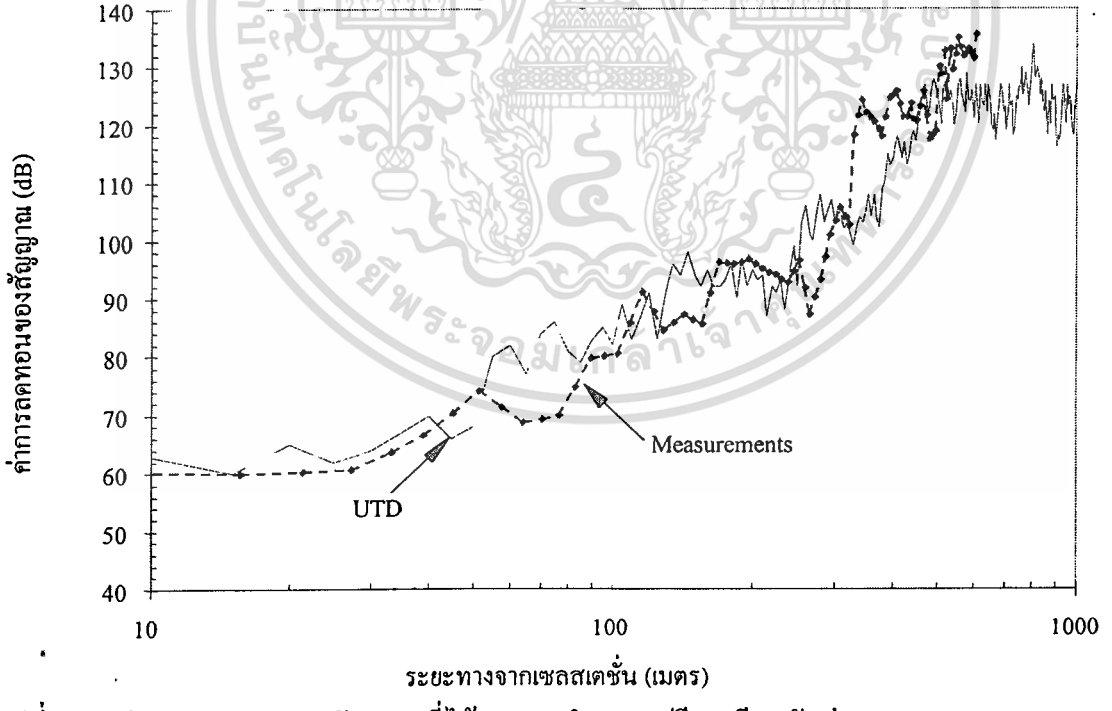
5.4 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณและผลการทดลอง

จากผลที่ได้จากการคำนวณและผลที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยรัศมีของการแพร่กระจายคลื่นมีค่าเท่ากับ 310 เมตร ส่วนรัศมีของการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จากการทดลองจะมีค่า 300 เมตร ดังนั้นจึงสามารถใช้โปรแกรมนี้ในการหาค่ารัศมีของพื้นที่ครอบคลุมของเซลได้ โดยค่ารัศมีของการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จะใช้ในการเลือกติดตั้งเซลสเตชั่น นั่นคือ ระยะห่างระหว่างเซลสเตชั่นจะมีค่าเท่ากับรัศมีของการแพร่กระจายคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

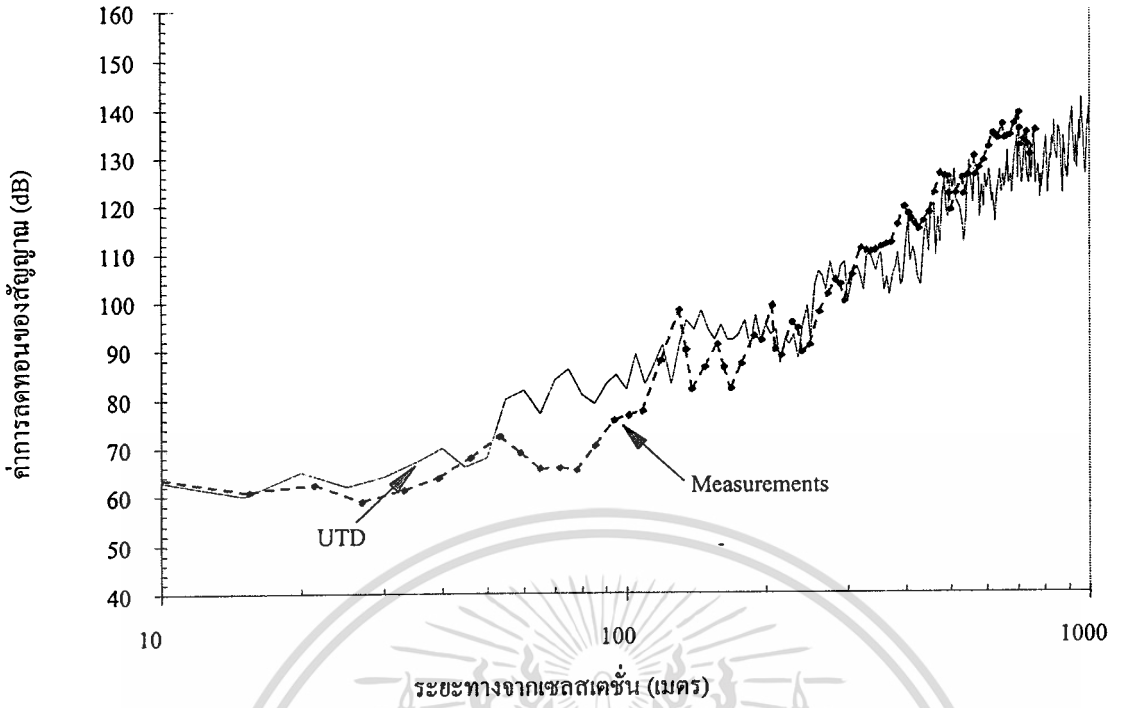


รูปที่ 5.13 ค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าการลดทอนที่ได้จากการวัดจริงในถนนหลัก



รูปที่ 5.14 ค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าการลดทอนที่ได้จากการวัดจริงในถนนรองที่ทำมุมฉากกับถนนหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 ค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าการลดทอนที่ได้จากการวัดจริงในถนนรองที่ขนานกับถนนหลัก

จากรูปที่ 5.13 รูปที่ 5.14 และรูปที่ 5.15 จะแสดงให้เห็นว่าค่าการลดทอนของสัญญาณ (สำหรับเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตาและเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวางระหว่างเซลสเตชั่นและตัวเครื่องโทรศัพท์ลูกข่าย) ที่คำนวณได้จากโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบขึ้นโดยใช้หลักการ UTD หลักการอิมเมจและหลักการ Ray tracing มีค่าใกล้เคียงกับค่าการลดทอนของสัญญาณที่วัดได้ในสภาพแวดล้อมจริง มากกว่าค่าการลดทอนของสัญญาณที่คำนวณได้จากวิธีการของ Hata สำหรับเซลขนาดเล็ก วิธีการของ Lee และวิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami ดังนั้นวิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณด้วยวิธีนี้จึงเหมาะสมกับการนำมาหารัศมีพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายแบบพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเป็นระบบที่ใช้เทคนิคของเซลขนาดเล็ก หรือที่เราเรียกว่าไมโครเซล ดังนั้นจึงมีการแพร่กระจายคลื่นในระยะเพียงไม่กี่ร้อยเมตร ในการออกแบบระบบ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาถึงขอบเขตของพื้นที่ให้บริการ ซึ่งสามารถคำนวณได้ โดยการศึกษาหลักการแพร่กระจายคลื่น หลักการสะท้อนและการหักเห หลักการ Ray tracing หลักการอิมเมจ และหลักการ UTD เพื่อนำไปหาค่าการลดทอนของสัญญาณและเลือกตำแหน่งในการติดตั้งเซลสเตชั่นสำหรับการให้บริการภายนอกอาคารได้อยู่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าต่อการลงทุน

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโปรแกรมในการคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณ เพื่อใช้ในการหาพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที โดยอาศัยหลักการ Ray tracing หลักการอิมเมจและหลักการ UTD ซึ่งเป็นการรวมคลื่นที่เกิดจากการสะท้อนจากผนัง พื้นถนน และการหักเหที่เกิดขึ้นบริเวณมุมตึก และเนื่องจากเซลสเตชั่นในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีมีการการติดตั้งในระดับที่ต่ำกว่าระดับความสูงของหลังคาตึก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงไม่นำค่าการลดทอนเนื่องจากการหักเหที่หลังคามาคิดในการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ โปรแกรมในการคำนวณหาพื้นที่ครอบคลุมของเซลจะคำนึงถึงสภาพแวดล้อมรอบๆเซลสเตชั่นและค่าพารามิเตอร์ต่างๆไม่ว่าจะเป็น ขนาดของอาคาร ความกว้างของถนน ย่านความถี่ที่ใช้งาน ระดับความสูงของเซลสเตชั่นและสายอากาศที่ตัวเครื่องโทรศัพท์ รวมทั้งคุณสมบัติทางไฟฟ้าของผนังและพื้นผิวถนน

ผลจากการทดลองพบว่ารัศมีของการแพร่กระจายคลื่นมีค่าประมาณ 300 เมตร ซึ่งเป็นค่าระยะห่างที่ใช้ในการติดตั้งเซลสเตชั่นที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โปรแกรมนี้จึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ สิ่งที่สำคัญในการหาพื้นที่ครอบคลุมของเซลของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ก็คือแผนที่ทางภูมิประเทศ เนื่องจากใช้เทคนิคของไมโครเซล ดังนั้นแผนที่ที่ใช้จะต้องมีความละเอียดในระดับเมตร และต้องเป็นแผนที่ที่ระบุถึงขนาดของอาคาร อันได้แก่ ความกว้าง ความยาว และความสูงซึ่งแผนที่ในปัจจุบันไม่มี ดังนั้นจึงต้องสร้างสภาพแวดล้อมจำลอง จึงทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อน แต่ถ้าในอนาคตมีการใช้แผนที่ที่ดีและมีความละเอียดมากพอ หรืออาจจะใช้งานร่วมกับระบบนำร่องก็จะทำให้ผลของการคำนวณมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] ถวิล พึ่งมา **ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูล่าร์ (Cellular Mobile Telephone System)** ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2541

[2] มนูญ ขวัญสูงเนิน **ความรู้เกี่ยวกับโครงข่ายโทรศัพท์บ้านพกพา (Personal Communication Telephone Network Introduction)**, Telecom Training Department-TT&D Version 3, November 1997.

[3] สหไชย วิลาสุวรรณ สุพจน์ องค์สรณะคมกุล และถวิล พึ่งมา บทความทางวิชาการเรื่อง "การออกแบบเซลไซท์เพื่อแก้ปัญหาการเกิดโฮลของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าร์ในพื้นที่ที่เป็นเนิน" การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 25-26 พฤศจิกายน 2536 หน้าที่ 143-148

[4] A. J. Rustako, N. Amitay, G. J. Owens and R. S. Roman, " Radio Propagation at Microwave Frequencies for Line-of-Sight Microcellular Mobile and Personal Communications," IEEE Trans. Vehicular Tech., Vol. 40, pp. 203-210, February 1991.

[5] A. J. Rustako, Jr., M. J. Gans, G. J. Owens and R. S. Roman, "Attenuation and Diffraction Effects from Truck Blockage of an 11-GHs Line-of-Sight Microcellular Mobile Radio Path," IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 40, pp. 211-215, Feb. 1991.

[6] F. Ikegami, T. Takeuchi and S. Yoshida, "Theoretical Prediction of Mean Field Strength for Urban Mobile Radio," IEEE Trans. Antennas Propagation, Col. 39, pp. 299-302, Mar. 1991.

[7] Gilles Y. Delisle, Jean-Paul Lefevre, Michel Lecours and Jean-Yves Chouinard, "Propagation Loss Prediction : A Comparative Study with Application to the Mobile Radio Channel," IEEE Trans. Vehicular Tech., Vol. VT-34, No. 2, pp. 86-96, May 1985.

[8] H.L. Bertoni and J. Walfish, "A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments," IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 36, pp. 1788-1796, December 1988.

[9] H. L. Bertoni, W. Honcharenko, L. R. Maciel and H. H. Xia, "UHF Propagation Prediction for Wireless Personal Communications," Proc. IEEE, Vol. 82, pp.1333-1359, Sept. 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] H. X. Xia and H. L. Bertoni, "Diffraction of Cylindrical and Plane Waves by an Array of Absorbing Half-Screens," IEEE Trans. Antennas Propagation, Vol. 40, pp. 170-177, Feb. 1992.

[11] J. Bach Anderson, "UTD Multiple-Edge Transition Zone Diffraction," IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 45, No. 7, pp. 1093-1097, July 1997.

[12] Jerry D. Gibson, "The Mobile Communications Handbook," A CRC Handbook Published in Cooperation with IEEE Press, Inc., 1996.

[13] J. W. McKown and R. L. Hamilton, "Ray Tracing as a Design Tool for Radio Networks," IEEE Network Man., pp. 27-30, Nov. 1991.

[14] L. Vogler, "An Attenuation Function for Multiple Knife-Edge Diffraction," Radio Sci., Vol. 17, pp. 1541-1546, 1982.

[15] M. C. Lawton and J. P. McGeehan, "The Application of a Deterministic Ray Launching Algorithm for the Prediction of Radio Channel Characteristics in Small-cell Environments," IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 43, pp. 955-969, Nov. 1994.

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

[17] M. Schneider and R. J. Luebbers, "A general, Uniform Double Wedge Diffraction Coefficient," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. 39, pp. 8-14, Jan. 1991

[18] Neil J. Boucher, The Cellular Radio Handbook, Quantum Publishing, Inc., 1990.

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

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

[21] Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT), Personal Handy-phone for Business and Everyday life, August, 1996.

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

[23] P. Moungnoul, P. Tangtisanon and T. Paungma, "PCT-The New Service of Digital Wireless Communication in Thailand," The 16th International Telecommunication Symposium (ITS'98), Proceedings Vol. II, pp. 51-55, Taipei, Taiwan, R.O.C., September 15-17, 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[24] P. Moungnoul, N. Namuang, M. Sukkasem and T. Paungma, "The Computation and Experimental results for Cell Coverage Regions for a PCT System," The 16th International Telecommunication Symposium (ITS'98), Proceedings Vol. II, pp. 57-62, Taipei, Taiwan, R.O.C., September 15-17, 1998.

[25] R. A. Valenzuela, "A Ray Tracing Approach to Predicting Indoor Wireless Transmission," IEEE Vehicular Technology Conf., Secaucus, NJ, May 18-20, 1993. Pp. 214-218.

[26] Reinald A. Valenzuela, Orlando Landron and D. L. Jacobs, "Estimating Local Mean Signal Strength of Indoor Multipath Propagation," IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 46, No. 1, pp.203-212, Feb. 1997.

[27] Shigeru Kozona and Akira Taguchi, "Mobile Propagation Loss and Delay Spread Characteristics with a Low Bass Station Antenna on an Urban Road," IEEE Trans. Vehicular Tech., Vol. 42, No. 1, pp.103-109, February 1993.

[28] Shiun-Chi Jan and Shyh-Kang Jeng, "Novel Propagation Modeling for Microcellular Communications in Urban Environments," IEEE Trans. Vehicular Tech., Vol. 46, No. 4, pp. 1021-1026, November 1997.

[29] S. Y. Tan and H. S. Tan, "A Microcellular Communications Propagation Model Based on the Uniform Theory of Diffraction and Multiple Image Theory," IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 44, No. 10, pp.1317-1326, October 1996.

[30] S. Y. Tan and H. S. Tan, "A Theory for Propagation Path-Loss Characteristics in a City-Street Grid," IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, Vol. 37, No. 3, pp.333-342, August 1995.

[31] S. Y. Tan and H. S. Tan, "UTD Propagation Model in an Urban Street Scene for Microcellular Communications," IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, Vol. 35, No. 4, pp. 423-428, November 1993.

[32] S. W. Lee, Y. Rahmat-Samii and R. C. Menendez, "GTD, Ray Field, and Comments on Two Paper," IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP. 26, pp. 352-354, Mar. 1978.

[33] Vinko Erecg, A. J. Rustako and R. S Roman, "Diffraction Around Corners and Its Effects on the Microcell Coverage Area in Urban and Suburband Environments at 900 MHz, 2 GHz and 6 GHz," IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 43, No. 3, pp. 762-766, August 1994.

[34] W.C.Y. Lee, Mobile Communications Design Fundamentals, Haward W. Sams & Co., 1986.

[35] W.C.Y Lee, Mobile Cellular Telecommunications System, McGraw-Hill, 1989.

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างของโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวน ค่าการลดทอนของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Option Explicit

'Constants
Public PI As Single
Public fullAngle As Single

Public fMainForm As frmMain

Sub Main()
   PI = 4 * Atn(1)
   fullAngle = PI * 2#
   Set fMainForm = New frmMain
   fMainForm.Show
End Sub

'This is the main subroutine where the ray-tracing starts
Sub compute(sch As Schema, frm As frmCompute)
   Dim angleStep As Single
   Dim currentAngle, prevReflectionAngle As Single
   Dim counter, numberOfReflections As Integer
   Dim isec As Intersection
   Dim directSection As Section
   Dim origSection As Section
   Dim reflectedSection As Section
   Dim currentRay As Ray
   Dim prevReflectionPoint As Point
   Dim i As Single
   Dim d1, d2 As Single
   Dim refl As Boolean

   Do While sch.successRays.Count > 0
      sch.successRays.Remove 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Loop
'First we test direct ray from trasmitter to receiver
Set directSection = New Section
directSection.setSection sch.transmitter.position.x, _
                         sch.transmitter.position.y, _
                         sch.receiver.position.x, _
                         sch.receiver.position.y
Set isec = closestSectionIntersection(sch, directSection)
If (isec Is Nothing) Then
   'Direct ray is possible
   Set currentRay = New Ray
   currentRay.addSection directSection
   sch.addSuccessRay currentRay
End If

'Now let's beam around...
angleStep = fullAngle / sch.maxNrOfBeams
currentAngle = 0#
For counter = 1 To sch.maxNrOfBeams
   frm.txtCurrentBeams = counter
   frm.txtSuccessRays = sch.successRays.Count
   frmCompute.Refresh

   Set currentRay = New Ray
   Set prevReflectionPoint = sch.transmitter.position
   prevReflectionAngle = currentAngle

   For numberOfReflections = 1 To sch.maxNrOfReflections
      frm.txtCurrentReflactions = numberOfReflections
      frmCompute.Refresh

      Set origSection = New Section
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        origSection.setSectionByAngle prevReflectionPoint.x, prevReflectionPoint.y,
prevReflectionAngle, 1000
        Set isec = closestSectionIntersection(sch, origSection)
        'Here we test whether receiver received the signal
        If receiverIntersection(sch.receiver, origSection) Then
          If isec Is Nothing Then
            origSection.setSection origSection.p1.x, origSection.p1.y, sch.receiver.position.x,
sch.receiver.position.y
            currentRay.addSection origSection
            sch.addSuccessRay currentRay
            Exit For
          Else
            d1 = distance(origSection.p1.x, origSection.p1.y, sch.receiver.position.x,
sch.receiver.position.y)
            d2 = distance(origSection.p1.x, origSection.p1.y, isec.p.x, isec.p.y)
            If d1 <= d2 Then
              origSection.setSection origSection.p1.x, origSection.p1.y, sch.receiver.position.x,
sch.receiver.position.y
              currentRay.addSection origSection
              sch.addSuccessRay currentRay
              Exit For
            End If
          End If
        End If

        If isec Is Nothing Then
          Exit For
        End If
        origSection.setSection isec.s1.p1.x, isec.s1.p1.y, isec.p.x, isec.p.y
        currentRay.addSection origSection
        prevReflectionAngle = reflectedAngle(isec)
        Set prevReflectionPoint = isec.p
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        Next numberOfReflections
'       If currentRay.sections.Count > 0 Then
'           sch.addSuccessRay currentRay
'       End If
        currentAngle = currentAngle + angleStep
    Next counter
End Sub

'This function checks whether two sections intersect each other.
'If there is intersection, it gives back the coordinates of intersection,
'otherwise it gives Nothing value
Private Function sectionIntersection(s1 As Section, s2 As Section) As Point
    'These are coefficients of two equastions
    Dim a1 As Single
    Dim b1 As Single
    Dim c1 As Single
    Dim a2 As Single
    Dim b2 As Single
    Dim c2 As Single

    Dim x As Single
    Dim y As Single

    Dim p As Point
    Dim cond1, cond2, cond3, cond4 As Boolean
    Dim d, Dx, Dy As Single 'determinants
    Dim eps As Single

    eps = 0.01 'confidency value
    a1 = -s1.p2.y + s1.p1.y
    b1 = s1.p2.x - s1.p1.x
    c1 = (s1.p1.y * b1) - s1.p1.x * -(a1)
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
a2 = -s2.p2.y + s2.p1.y
b2 = s2.p2.x - s2.p1.x
c2 = (s2.p1.y * b2) - s2.p1.x * -(a2)

d = a1 * b2 - b1 * a2
If d = 0# Then
   Set sectionIntersection = Nothing
   Exit Function
End If
Dx = b1 * c2 - c1 * b2
Dy = a1 * c2 - c1 * a2
x = -(Dx / d)
y = (Dy / d)

'Now we check whether the solution lays on the sections
If s1.p1.x <= s1.p2.x Then
   If (s1.p1.x - eps <= x) And (x <= s1.p2.x + eps) Then
      cond1 = True
   End If
Else
   If (s1.p2.x - eps <= x) And (x <= s1.p1.x + eps) Then
      cond1 = True
   End If
End If
If s1.p1.y <= s1.p2.y Then
   If (s1.p1.y - eps <= y) And (y <= s1.p2.y + eps) Then
      cond2 = True
   End If
Else
   If (s1.p2.y - eps <= y) And (y <= s1.p1.y + eps) Then
      cond2 = True
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        End If
    End If
    If s2.p1.x <= s2.p2.x Then
        If (s2.p1.x - eps <= x) And (x <= s2.p2.x + eps) Then
            cond3 = True
        End If
    Else
        If (s2.p2.x - eps <= x) And (x <= s2.p1.x + eps) Then
            cond3 = True
        End If
    End If
    If s2.p1.y <= s2.p2.y Then
        If (s2.p1.y - eps <= y) And (y <= s2.p2.y + eps) Then
            cond4 = True
        End If
    Else
        If (s2.p2.y - eps <= y) And (y <= s2.p1.y + eps) Then
            cond4 = True
        End If
    End If
    If cond1 And cond2 And cond3 And cond4 Then
        Set p = New Point
        p.setPoint x, y
        'We got the solution
        Set sectionIntersection = p
        Exit Function
    End If
    Set sectionIntersection = Nothing
End Function

'This subroutine finds the closest intersection between
'one of the sections of the blocks and a section of a wave beam if any
```

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Function closestSectionIntersection(sch As Schema, s As Section) As Intersection
    Dim i, j As Integer
    Dim currentBlock As Block
    Dim currentSection As Section
    Dim intersections As Collection
    Dim p As Point
    Dim isec As Intersection
    Dim d, dmin As Single

    Set intersections = New Collection
    For i = 1 To sch.blocks.Count
        Set currentBlock = sch.blocks.Item(i)
        For j = 1 To currentBlock.limiterSections.Count
            Set currentSection = currentBlock.limiterSections.Item(j)
            Set p = sectionIntersection(s, currentSection)
            If Not (p Is Nothing) Then
                Set isec = New Intersection
                Set isec.p = p
                Set isec.s1 = s
                Set isec.s2 = currentSection
                intersections.Add isec
            End If
        Next j
    Next i

    If intersections.Count = 0 Then
        Set closestSectionIntersection = Nothing
        Exit Function
    End If

    'Now find which intersected section is the closest one
    Set isec = intersections.Item(1)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    dmin = 10000
    Set closestSectionIntersection = Nothing
    For i = 1 To intersections.Count
      Set isec = intersections.Item(i)
      d = distance(isec.s1.p1.x, isec.s1.p1.y, isec.p.x, isec.p.y)
      If d > 0.01 Then
        If d < dmin Then
          Set closestSectionIntersection = isec
          dmin = d
        End If
      End If
    Next i
  End Function

  'This function calculates the reflected angle in an intersection (reflection point)
  Private Function reflectedAngle(i As Intersection) As Single
    Dim incomingSectionAngle, reflectorSectionAngle As Single
    Dim debugStr As String

    incomingSectionAngle = i.s1.vectorAngle
    reflectorSectionAngle = i.s2.vectorAngle
    If reflectorSectionAngle > PI Then
      reflectorSectionAngle = reflectorSectionAngle - PI
    End If

    reflectedAngle = 2 * reflectorSectionAngle - incomingSectionAngle
  End Funetion

  'Distance between two points
  Public Function distance(x1 As Single, y1 As Single, x2 As Single, y2 As Single)
    distance = Sqr((x2 - x1) * (x2 - x1) + (y2 - y1) * (y2 - y1))
  End Function
```

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Function receiverIntersection(r As receiver, testSection As Section) As Boolean
    Dim s As Section
    Dim p As Point

    receiverIntersection = False
    Set s = New Section
    s.setSection r.position.x - r.radius, r.position.y - r.radius, r.position.x + r.radius, r.position.y -
r.radius
    Set p = sectionIntersection(s, testSection)
    If Not (p Is Nothing) Then
        receiverIntersection = True
    End If
    s.setSection r.position.x - r.radius, r.position.y + r.radius, r.position.x + r.radius, r.position.y +
r.radius
    Set p = sectionIntersection(s, testSection)
    If Not (p Is Nothing) Then
        receiverIntersection = True
    End If
    s.setSection r.position.x - r.radius, r.position.y - r.radius, r.position.x - r.radius, r.position.y +
r.radius
    Set p = sectionIntersection(s, testSection)
    If Not (p Is Nothing) Then
        receiverIntersection = True
    End If
    s.setSection r.position.x + r.radius, r.position.y - r.radius, r.position.x + r.radius, r.position.y +
r.radius
    Set p = sectionIntersection(s, testSection)
    If Not (p Is Nothing) Then
        receiverIntersection = True
    End If
End Function
```

เอกสารนี้มีไว้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Public Function radianToDegree(r As Single) As Single
   radianToDegree = 180 / PI * r
End Function
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16th (1998)
ternational Telecommunication Symposium

PROCEEDINGS

VOLUME III

SEPTEMBER 15-17,1998

TAIPEI, TAIWAN, R.O.C.

PS II-2-2

The computation and experimental results for cell coverage regions for a PCT system

Phichet Moungnoul, Nutkamon Namuang, Manoon Sukkasem and Tawil Paungma
Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok,10520, Thailand.

ABSTRACT

The new Personal Communication Telephone (PCT) service in Bangkok (Thailand) is provided by Telecom Asia Co., Ltd., a concessionaire of the Telephone Organization of Thailand (TOT). A field trial with 100,000 subscribers was currently being carried out. The designation of cell coverage regions for PCT should be planned carefully to allow in the occurrence of various problems such as to decreasing holes and selecting sufficient cell power in each area.

This paper presents the design procedures of cell sites for PCT in the 1900 MHz frequency band using a computer program. The parameters of the program are the transmitter power and receiver sensitivity of the cell, the communication traffic and the surrounding environment conditions which effect the function. The computation and measurements should be tested for three different areas, area A (Silom Rd.), business area with high density of users and high rise buildings, area B (Ratchadapisek Rd.), urban area with medium traffic on a tree lined main road and area C (Bangna-Trad Rd.), express way with medium and high speed vehicle movements. The results will be described in this paper.

1. INTRODUCTION

In September 1996 one of the speediest and most dramatic advances in Thai infrastructure was completed. The installation and operation of 2.6 million telephone lines in greater Bangkok by Telecom Asia Co., Ltd. for the TOT was the result of superb co-operation among many different agencies, both public and private. Because of this achievement, Bangkok's ratio of telephone lines per 100 persons rose from 14 to 50, a level equivalent to other great cosmopolitan cities in the world. The quality and character of telephone service in general were greatly affected, as new forms of telecommunications followed in the wake of this massive change in the scale of Bangkok's capacity to communicate.

Telecom Asia is therefore committed in 1997 to the process of transforming its basic telephone in accordance with this age of personal wireless communication. The company's networks are undergoing restructuring to make them one of the most state-of-the-art in the world, base on PHS microcell wireless systems and Intelligent Network (IN) technology that will allow subscribers to take basic their telephones with them. This new service is called PCT or Personal Communication Telephone[1], and represent one of the most advanced basic telephone services in the world - achieved first in Thailand, and conceived by Thai engineers. The PCT service, a wireless basic telephone network system that allows users to carry their handset outside their home.

2. PCT NETWORK

The cell site in the cellular system is reduced in size progressively. Presently, cell sites are about 2-3 kilometers radius for increasing the quantity of users because as the cell size are reduced, the number of cell size has to increase to cover the same given area, hence, more channels are available. Current technology enabled the utilization higher frequency and tend to go higher and higher up the spectrum with time. The reduction in cell size of the cellular system involve a higher investment due to the cell sites increasing. Alternatively, cell stations can be installed in principle working areas such as along the roads and inside the buildings. The PCS system and its derivatives such as PACS (Personal Access Communication System[2], DECT (Digital European Cordless Telephone)[3] and PHS (Personal Handy-phone System) systems.[4] Thailand has adopted the PHS system, being technology from Japan, and called it PCT.[5]

The Telephone Organization of Thailand (TOT) granted a permission to Telecom Asia Co., Ltd. (TA) to provide PCT service in the Bangkok Metropolitan area, while the Thai Telephone and Telegraph company (TT&T) provides the same to other areas. The PCT system utilized the 1900 MHz (1895-1918 MHz) frequency band and it is divided into 77 channels as show in table 1.

The first ten channels communicate with PCT in transceiver mode, while the next 27 channels are used inside building as Wireless Automatic Branch

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PS II-2-2

Exchange (WPABX). The frequency uses in experiment and calculations in this paper was 1910 MHz.

Table 1 Frequency planning in PCT system.

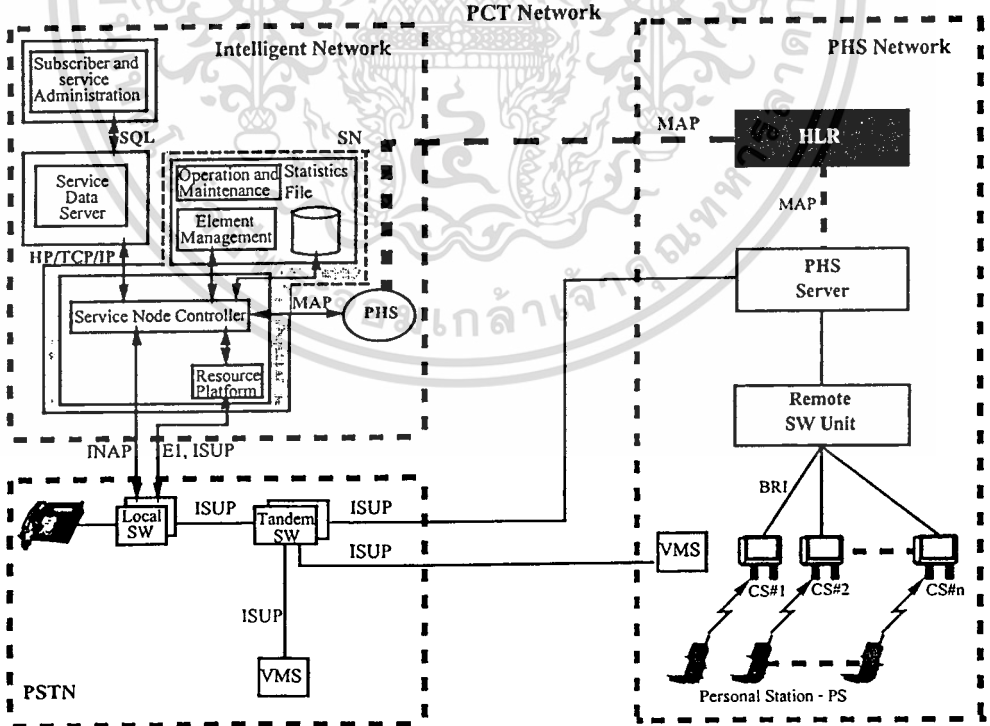
Channel	Frequency(MHz)	Type of work
1-10	1895.150-1897.850 (Each signal channel was 300 kHz apart)	Direct communication between PS to PS
11-37	1898.150-1905.950 (Each signal channel was 300 kHz apart)	To communicate within buildings as WPABX*
38-69	1906.250-1915.550 (Each signal channel was 300 kHz apart)	To communicate with the pubic service
70-77	1915.850-1917.950 (Each signal channel was 300 kHz apart)	For channel controlling of the providers

* WPABX: Wireless Private Automatic Branch Exchange

Table 2 Properties of PCT cell station

Property	Type for using
Frequency area	1.9 GHz (1895.15-1917.95MHz)
Working characteristic	TDMA/TDD
Signal channel quantity/RF wave	4
Modulation method	p/4 QPSK
Passing voiced signal code	32 kbps ADPCM
Bit rate of controlling signal	384 kbps
Output power	CS : 10,20,200,500 mW PS : 5-10 mW
Bank of carrier	300 kHz
Antenna characteristic	Omnidirectional dipole antenna

The architecture of the PCT network for public is illustrated in Fig. 1. It consists of three networks as PHS, PSTN (Pubic Switched Telephone Network) and IN (Intelligent Network). The main purpose in linking these networks together is to enable the PCT to share the same number of the line phone number.



PSTN : Public Switched Telephone Network
PCT : Personal Communication Telephone
ISUP : Integrated Service User Part
VMS : Voice Mail System
BRI : Basic Rate Interface
CS : Cell Station
SN : Service Node

PHS : Personal Handy-Phone System
HLR : Home Location Registor
INAP : Intelligent Network Application Protocol
MAP : Mobile Application Protocol
SQL : Structured Query Language
PS : Personal Station
TCP/IP : Transmission Control Protocol/Internet Protocol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 1 Architecture of the PCT System

The chain-like layout pattern of cell stations of the PCT system is installed at a height not exceeding 4.5 meters on electric pole on every road as shown in Fig. 2 and the details of cell station as shown in table 2.

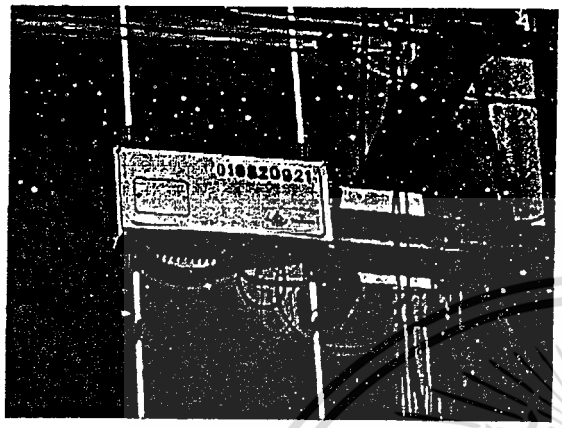


Fig. 2 Cell station of the PCT system installed on the electric pole.

3. PLANNING

To plan PCT for public usage along the roads in Bangkok Metropolitan. Cell layouts have to be considered, the distance of cell station must be appropriate for efficient performance. In case of cells being too far, there would be call drops while on the other hand when the cells were too close, it would cause of interference. The PCT cell stations layout is illustrated in Fig. 3 as shown for the Thai PCT cell station layout which employed 2 carriers per area because if all channels were occupied (3 channels/cell) in the 1st carrier, PCT will search for the 2nd carrier to handover. Handover will be triggered by the signal strength level or S/N ratio of more than 10 percent. Naturally, the signal strength level and S/N ratio are inversed proportionally. The hand-in cell must have a signal strength more than that specified in order to complete the handover, otherwise the call will drop.

4. EVALUATION OF CELL STATIONS VICINITY

The evaluation of distance between cell stations could be calculated from attenuation. In this paper the 1st equation had been used for general calculation assuming that there was no obstruction when compared with the 2nd equation which belong to Okumura[6] and Hata[7] equation as used in the tests in Japan. The cell layout of the PCT system is mainly along the side of the roads. Therefore, the communication path between the PCT and cell stations seems to be no obstacle. So in this paper, the 2nd equation is adopted and adapted to suit to the condition. The 3rd equation established from the results of measurements and a given beginning value of output signal loss at 38.4 dB (about 93.6 dBμV) which is the value of CS for 1 meter distance and uses grammar slope at 30.5 which was the value of Tokyo suburban.

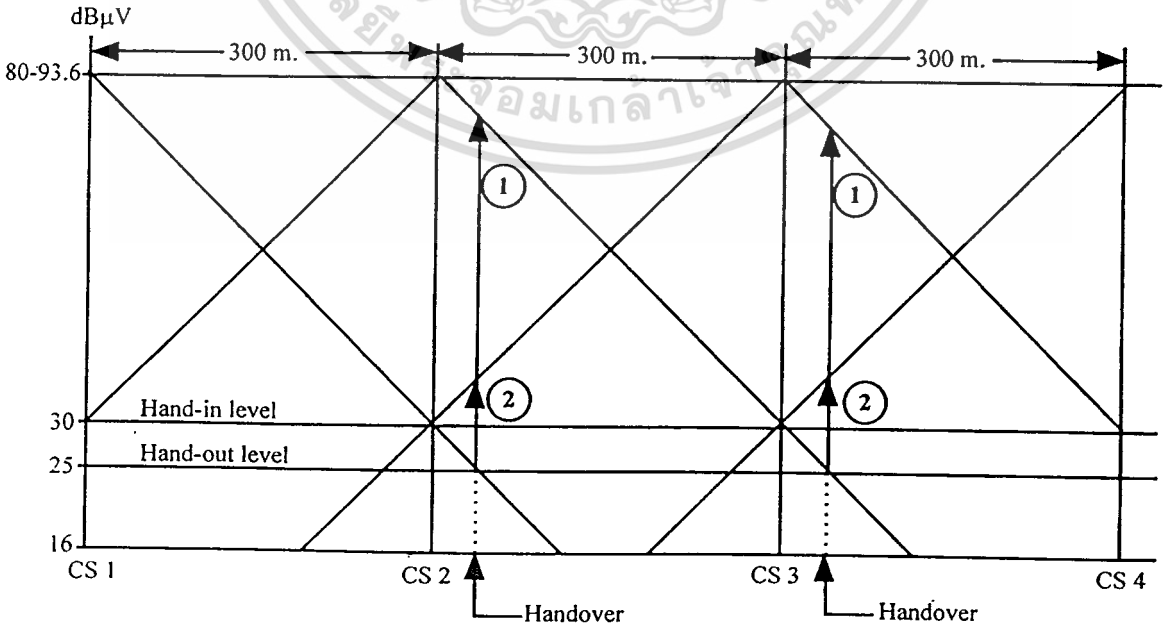


Fig. 3 Principle of PCT cell station planning

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PS II-2-2

$$L(dB) = 32.44 + 20\log f_c + 20\log d \quad (1)$$

$$L(dB) = 69.55 + 26.16\log f_c + (44.9 - 6.55\log h_{cs})\log d - 13.82\log h_{ps} - a(h_{ps}) \quad (2)$$

$$L(dB) = 38.4 + 20\log f_c + (30.5 - 6.55\log h_{cs})\log d - 13.82\log h_{ps} - a(h_{ps}) \quad (3)$$

$$a(h_{ps}) = [1.1\log f_c - 0.7]h_{ps} - [1.56\log f_c - 0.8] \quad (4)$$

where L = Path loss (in dB)
f_c = Carrier frequency used in PCT system (about 1910 MHz)
h_{cs} = Cell station antenna height in meters(about 4.5 meters)
h_{ps} = Personal station antenna height in meters (about 1.5 meters)
d = Distance (in kilometers) from cell station to personal station

From the calculation, the relationship between signal level and distance is shown in Fig 4.

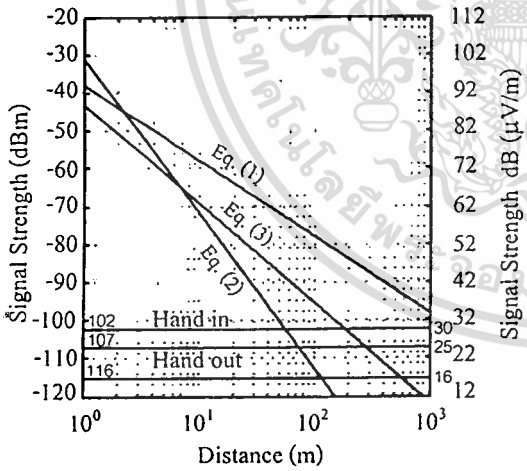


Fig. 4 Relation of signal level and distance.

5.COMPARISION OF SIGNAL ATTENUATION BETWEEN CALCULATION AND TESTS

The testing measured signal level from 200 mW (23 dBm) cell station, NEC ID No.010820921, installed at Ladkrabang a district of Bangkok. The result is shown in Fig. 5.

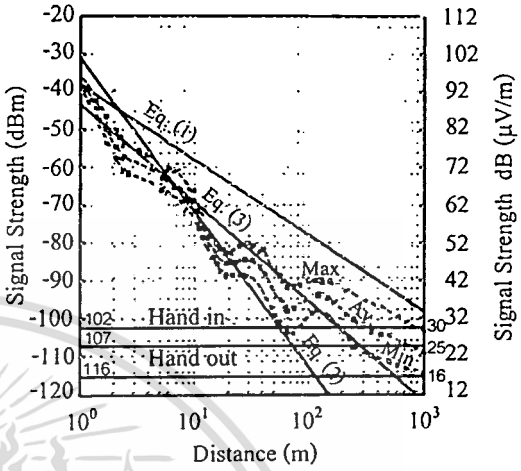


Fig. 5 Comparison of attenuation signal between calculation and measurement.

The comparison is shown that the derived value from the 1 st equation has more deviation from the measured value. By using the Okumura and Hata equation, the distance would be too short because of the assumption of no obstruction in the 1st equation, while the 2nd equation is used for the city with many hidden buildings. The value of the 3rd equation comes closed to the measured value, so it is very appropriate for PCT planning.

6. FIELD TRIAL

Cell stations for field trial were set up in three areas. For city area for high traffic field trial, Silom road was selected with an expected high density of PCT users. Twenty mW cell stations were set up on electric poles 4.5 meters above the ground. Measurements were made every 10 meters. The average signal level measured by a NEC CP6H3E1-2A field strength meter is shown in Fig .6.

The other areas were measurements on Ratchadapisek road and Bangna-Trad road in the same way as on Silom road but the cells stations were changed from 20 mW to 200 mW for extend cell size more suitable to use at speed 30-60 kilometers per hour. The results are shown in Fig. 7 and Fig. 8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

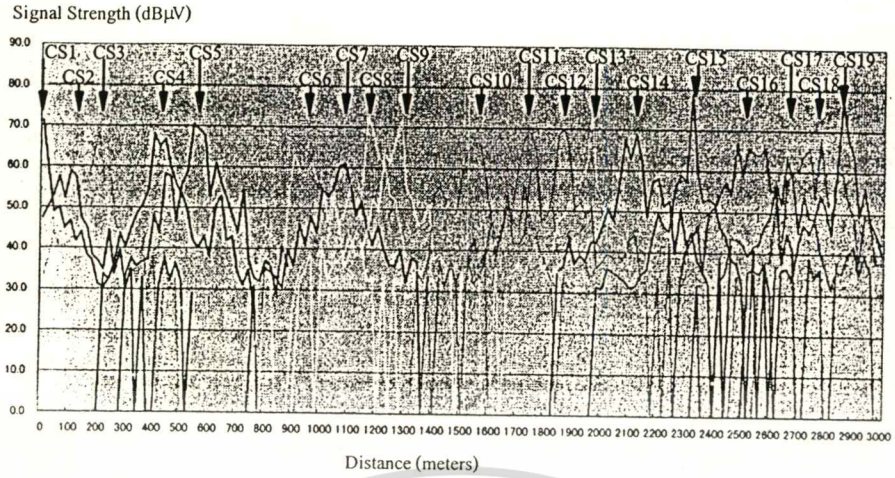


Fig. 6 Signal strength curve for PCT system on Silom road.

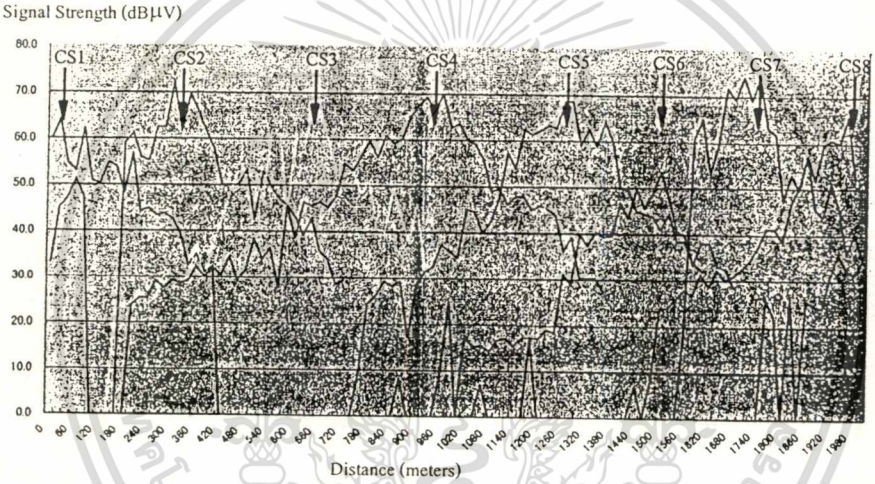


Fig. 7 Signal strength curve for PCT system on Ratchadapisek road.

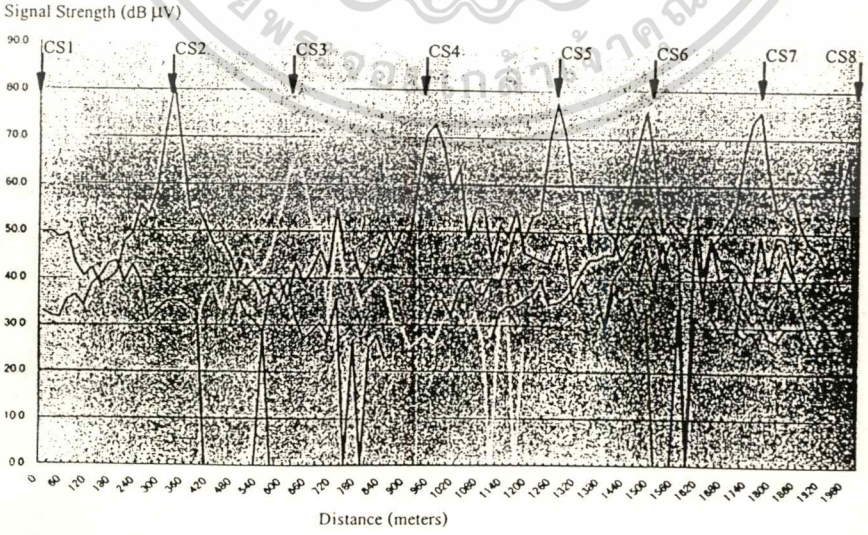


Fig. 8 Signal strength curve for PCT system on Bangna-Trad road.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PS II-2-2

7. CONCLUSION

The comparison between the computed value from the 3rd equation and the measured value appeared to be very closed. The 10 dB difference in measured value could be due to fading. It means that it can be adjusted the new installation area again and it is also used the calculated value for basic planning. The approximate cell coverage is 300 x 2 = 600 meters for one carrier cell layout, or using 300 meters for 2 carriers layout. Handover will be done at a 290 meters distance, but hand-in will be done about 200 meters .In case of no new cells to hand-in, the calling will fall off about 600 meters from the cell. By the way, it is necessary to allow a 10 percent reduction in distance to compensate the signal fading.

The results of the signal test on Silom road showed that the signal level was always higher than 30 dBμV (the signal level used for handover). There had only one spot which had traffic lights, so cell stations could not be installed there. This section was intersection expectations, but still worked well. To get more than 40 dBμV would increase antenna gain or installing more cells which could be placed in building near the crossroad.

The results of the signal test on Ratchadapisek road using 200 mW cells layout 300 meters apart to get two carriers per area, see Fig. 7 showed that the signals power was always higher than 30 dBμV and there had only one spot that power lower than 40 dBμV. The output of CS6 was lower than usual, so this cell should be changed. The diagram shows that the signal was not accurated because of the environment and the traffic jams.

On Bangna-Trad road is very wide and have the expressway construction with very thick concrete so the measured signal was so weak. However most of signal were higher than 40 dBμV. Also a CS1 position improvement is still necessary.

The expectation was decreased as per the first equation. The results seem to confirm on this equation. Although the actual installation used about 270 meters instead of 300 meters as per the measurement at calculation, this would increase the signal level about 10 dBμV. If the distance should be expanded to 300 meters on a small road and 270 meters on a large road, the cells would be more reliable.

8. REFERENCES

[1] Telecom training Department -TT&D, "PCT Network Introduction", Version 3,November 26,1995

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

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

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาว ณัฏฐ์กมล นาเมือง เกิดเมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2516 ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2538 เข้าศึกษาต่อในปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2539

ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

1. ณัฏฐ์กมล นาเมือง พิเชฐ ม่วงนวล มนูญ สุขเกษมและถวิล พึ่งมา บทความทางวิชาการเรื่อง "การพัฒนาเครื่องต่อโทรศัพท์ตรงโดยไม่ผ่านโอเปอร์เรเตอร์" การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 18 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 20-21 พฤศจิกายน 2538 หน้าที่ 472-479
2. P. Moungnoul, N. Namuang, M. Sukkasem and T. Paungma, "The Computation and Experimental results for Cell Coverage Regions for a PCT System," The 16th International Telecommunication Symposium (ITS'98), Proceedings Vol. II, pp. 57-62, Taipei, Taiwan, R.O.C., September 15-17, 1998.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้