

การศึกษาค่าลดทอนสัญญาณจากมุมอาคารในเส้นทางนอกระดับแนว
สายตาของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT)

STUDY OF BUILDING CORNER ATTENUATION IN NON-LINE-OF-SIGHT
PATH OF PERSONAL COMMUNICATION TELEPHONE (PCT) SYSTEM



อำนาจ ยิ้มสวัสดิ์

UMNARD YIMSAWAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จพ.
๑๖๘๖๗
๒๕๔๗

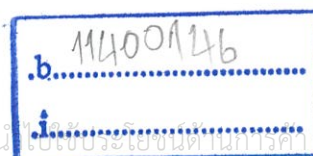
พ.ศ.๒๕๔๗

ISBN 974-9708-89-X

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 51845.....

วัน,เดือน,ปี 30 ก.ค. 2547.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**STUDY OF BUILDING CORNER ATTENUATION IN NON-LINE-OF-SIGHT
PATH OF PERSONAL COMMUNICATION TELEPHONE (PCT) SYSTEM**



UMNARD YIMSAWAT

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

2004

ISBN 974-9708-89-X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2004

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาค่าลดทอนสัญญาณจากมุมอาคารในเส้นทางนอกระดับแนวสายตาของระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT)
นักศึกษา	นายอำนาจ ยิ้มสวัสดิ์
รหัสนักศึกษา	43061075
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2547
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ไกรสิน ส่องวัฒนา
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาค่าการลดทอนสัญญาณจากมุมอาคารในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT) โดยใช้แบบจำลองของพื้นที่ในการหาเส้นทางการแพร่กระจายของคลื่นในเส้นทางนอกระดับแนวสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS) โดยทำการคำนวณจากตัวอย่างมุมอาคารที่มีรูปแบบของเส้นทางที่แตกต่างกัน อันเนื่องมาจากความกว้างของถนนที่แตกต่างกันจะส่งผลกับระยะทางการเดินทางของคลื่นจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องลูกข่าย (Personal Station : PS) แตกต่างกันได้ ในส่วนของผลการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบกราฟระดับสัญญาณที่แพร่กระจายในเส้นทางที่ได้จากการคำนวณกับการวัดจริงจากพื้นที่ ดังนั้นวิธีการที่ได้นำเสนอสามารถใช้พิจารณาตำแหน่งการติดตั้งสถานีเซลล์ (Cell Station: CS) ในกรณีที่พื้นที่บริการครอบคลุมเส้นทางในมุมเหลี่ยมที่มีอาคารบดบังการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางแนวระดับสายตา (Line-of-Sight: LOS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Study of Building Corner Attenuation in Non-Line-of-Sight Path of Personal Communication Telephone (PCT) System
Student	Mr.Umnard Yimsawat
Student ID.	43061075
Degree	Mater of Engineering
Programme	Electrical Engineering
Year	2004
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Kraisin Songwatana
Co-Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Phichet Moungnoul

ABSTRACT

This thesis presents the study of building corner attenuation in non-line-of-sight path of the personal communication telephone (PCT) system by using wave propagation model for non-line-of-sight (NLOS) path. The wave propagation rays distance form cell station (CS) to personal station (PS) depends width of the street and In this thesis, the signal levels in several sample street have been measured for comparing with the calculated results. The proposed method in this thesis will be used for placement design of cell stations in service area coverage for non-line-of-sight streets.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ได้รับความอนุเคราะห์ในคำปรึกษาที่ดี มาโดยตลอดจากท่านอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ไกรสิน ส่งวัฒนา และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิเชฐ ม่วงนวล ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความกรุณา และต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสอง ท่านเป็นอย่างสูง

ข้าพเจ้าต้องขอกราบขอบพระคุณในพระคุณของบิดามารดาของข้าพเจ้าเป็นอย่างสูง ที่ได้เลี้ยงดูและสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างมาโดยตลอด และขอขอบใจน้องสาวของข้าพเจ้า ซึ่งทั้งหมดคือ ครอบครัวที่อบอุ่นที่เป็นกำลังใจอย่างมากให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จในการศึกษา

ขอขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่เคยสั่งสอนให้วิชาความรู้ข้าพเจ้าในทุกระดับชั้น ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินชีวิต

ขอขอบพระคุณพี่ๆ ทุกคนของแผนก RED บริษัท เอเชีย ไรร์เลส คอมมิวนิเคชั่น จำกัด (AWC) ที่ให้ความรู้และข้อมูลเป็นอย่างดียิ่งในการศึกษาวิจัยของข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้าในการศึกษา

ท้ายสุด คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อำนาจ ยิ้มสวัสดิ์

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.4.4 การประยุกต์ใช้งานภายในตัวอาคาร	25
2.4 การเปรียบเทียบระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลดิจิทัล.....	26
2.5 ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที.....	29
2.5.1 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	29
2.5.1.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ.....	29
2.5.1.2 โครงข่ายอัจฉริยะ	31
2.5.1.3 โครงข่ายโทรศัพท์ PHS.....	32
2.5.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพา ส่วนบุคคลพีซีที	34
2.5.2.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อ	34
2.5.2.2 ความถี่ใช้งาน.....	34
2.5.2.3 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงและการมัลติเพล็กซ์ ช่องสัญญาณ.....	36
2.5.2.4 วิธีการมอดูเลตสัญญาณ	37
2.5.2.5 การข้ามเซลล์ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพา ส่วนบุคคลพีซีที.....	37
2.5.2.6 ระบบโทร โดคอลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพา ส่วนบุคคลพีซีที.....	39
2.5.2.7 รายละเอียดของสถานีเซลล์และเครื่องโทรศัพท์พีซีที.....	42
2.5.2.8 สายอากาศของสถานีเซลล์ระบบโทรศัพท์พื้นฐาน พกพาส่วนบุคคลพีซีที.....	43
2.5.3 กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพา ส่วนบุคคลพีซีที	43
บทที่ 3 ทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น.....	44
3.1 หลักการแพร่กระจายคลื่น	44
3.2 กลไกพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น	47
3.2.1 การสะท้อนของคลื่น.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การหักเหของคลื่น.....	51
3.2.3 การกระเจิงของคลื่น.....	54
3.3 วิธีการหาค่าสูญเสียของสัญญาณ.....	54
3.3.1 วิธีการของ Okumura.....	54
3.3.2 วิธีการของ HATA สำหรับเซลล์ขนาดเล็ก.....	57
3.3.3 วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami.....	58
3.3.4 วิธี Log-Distance Path Loss.....	60
บทที่ 4 วิธีการที่นำเสนอและผลการทดลอง.....	62
4.1 รูปแบบเส้นทางบนถนนไมโครเซลล์.....	62
4.2 การวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทาง LOS และ NLOS.....	63
4.2.1 การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวสายตา.....	63
4.2.2 การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับนอกแนวสายตา.....	65
4.3 ผลการทดลอง.....	68
4.4 ข้อเสนอแนะตำแหน่งติดตั้งสถานีเซลล์เพิ่มเติม.....	82
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	88
5.1 สรุปรูปแบบของถนนที่ส่งผลกับค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS.....	88
5.2 สรุปผลที่ได้จากการคำนวณและที่วัดได้จริง.....	89
5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ.....	92
เอกสารอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก.....	95
ประวัติผู้เขียน.....	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบ CT2.....	13
2.2 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบ DECT	15
2.3 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบ PACS.....	16
2.4 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส.....	26
2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล.....	28
2.6 การใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์ PHS	35
4.1 ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณค่าการสูญเสียใน NLOS ของ CS1.....	69
4.2 ค่าลดทอนจากมุมอาคารที่คำนวณได้แต่ละเส้นทางการทดสอบของ CS1	69
4.3 ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณค่าการสูญเสียใน NLOS ของ CS2.....	77
4.4 ค่าลดทอนจากมุมอาคารที่คำนวณได้แต่ละเส้นทางการทดสอบของ CS2	77
4.5 ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณค่าลดทอนจากมุมอาคารของชอย 3 และชอย10.....	85
4.6 ค่าลดทอนจากมุมอาคารที่คำนวณได้ของชอย 3 และชอย10	85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของระบบ DECT.....	15
2.2 โครงสร้างของระบบ PACS.....	17
2.3 การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะโทรศัพท์อยู่กับที่.....	19
2.4 การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลร่วมกับชุมสายปลายทางอัตโนมัติ ในลักษณะเครื่องลูกข่ายแบบไร้สาย.....	19
2.5 การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะการสื่อสารเคลื่อนที่.....	20
2.6 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส.....	21
2.7 การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส กับโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิทัล.....	21
2.8 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสสาธารณะ.....	22
2.9 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสอิสระ.....	23
2.10 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส สำหรับการใช้งานในลักษณะ WLL.....	24
2.11 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที.....	30
2.12 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ.....	30
2.13 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะธรรมดา กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่ทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะ.....	31
2.14 ลักษณะการบริการของโทรศัพท์ PHS.....	32
2.15 โครงข่ายระบบโทรศัพท์ PHS.....	33
2.16 การเชื่อมต่อระหว่าง PS กับ CS และ CS กับ PHS Server.....	36
2.17 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด.....	36
2.18 การจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA – TDD.....	37
2.19 ระดับของสัญญาณที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ข้ามเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง.....	38
2.20 แสดงการแฮนด์โอเวอร์ทั้ง 3 แบบ ในระบบโทรศัพท์พีซีที.....	39
2.21 โพรโตคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดของสัญญาณควบคุม.....	40
2.22 ลำดับการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที.....	40
2.23 แสดงโพรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง.....	41
2.24 โพรโตคอลของการกลับมาใช้เซลล์เดิมเมื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ไม่สำเร็จ.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 การเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออกจาก โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	43
3.1 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิก.....	46
3.2 การสะท้อนของคลื่น	48
3.3 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก.....	50
3.4 หลักการของ Huygen	51
3.5 การหักเหของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง.....	52
3.6 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen.....	52
3.7 ค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการลดทอนสัญญาณ $A(f,d)$	55
3.8 ค่าอัตราการขยายกำลังจากผลความสูงของสายอากาศส่ง.....	55
3.9 ค่าอัตราการขยายกำลังจากผลความสูงของสายอากาศรับ.....	56
3.10 ค่าแฟกเตอร์ G_{AREA} ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของพารามิเตอร์ $A(f,d)$	57
4.1 (a) รูปแบบของถนนไมโครเซลล์ในเขตพื้นที่เมือง (b) ลักษณะครีฟของ Path Loss บนเส้นทาง LOS (c) ลักษณะครีฟของ Path Loss บนเส้นทาง NLOS	63
4.2 แบบจำลองเส้นทางของคลื่นที่เดินทางใน NLOS จากการสะท้อนอาคาร ในเส้นทาง LOS	64
4.3 เส้นทางของคลื่นที่ผ่านจุด Q	66
4.4 มุมสะท้อน α_{21} และ α_{11}	66
4.5 แสดงเส้นทางในการทดสอบ CSI	68
4.6 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P1 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.....	71
4.7 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P1 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.....	71
4.8 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P2 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.....	72
4.9 แสดงระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P2 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P3 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.....	73
4.11 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P3 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.....	73
4.12 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P4 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.....	74
4.13 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P4 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.....	74
4.14 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P5 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.....	75
4.15 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P5 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.....	75
4.16 แสดงเส้นทางในการทดสอบ CS2	76
4.17 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P6 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.....	78
4.18 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P6 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.....	78
4.19 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P7 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.....	79
4.20 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P7 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.....	79
4.21 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P8 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.....	80
4.22 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P8 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.....	80
4.23 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P9 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.....	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P9 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.....	81
4.25 แผนผังบริเวณพื้นที่สยามสแควร์	83
4.26 เส้นทางการแพร่กระจายคลื่นของสถานีเซลล์จากจุดที่คาดว่าจะติดตั้งเพิ่มเติม	84
4.27 ระดับสัญญาณที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) ในเส้นทางชอย 2 (LOS)	85
4.28 ระดับสัญญาณที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทางชอย 3 (NLOS)	86
4.29 ระดับสัญญาณที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทางชอย 10 (NLOS)	86



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อ

ทศท.	:องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย / บริษัท ทศท คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)
กสท.	:การสื่อสารแห่งประเทศไทย / บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน)
NMT	:Nordic Mobile Telephone
AMPS	:Advance Mobile Phone System
TACS	:Total Access Communication System
GSM	:Global System for Mobile communication
PCN	:Personal Communication Network
CDMA	:Code Division Multiple Access
PCT	:Personal Communication Telephone
CS	:Cell Station
PS	:Personal Station
NLOS	:Non-Line-of-Sight
LOS	:Line-of-Sight:
GTD	:Geometrical Theory of Diffraction
PCS	:Personal Communication System
CT2	:Cordless Telephone generation Two
PACS	:Personal Access Communication System
DECT	:Digital Cordless Telephone
PHS	:Personal Handyphone System
PDC	:Personal Digital Cellular
FDD	:Frequency Division Duplex
ERP	:Effective Modulation
PIN	:Personal Identification Number
PSTN	:Public Switched Telephone Network
CFP	:Cordless Fixed Part
CPP	:Cordless Portable Part
FDMA	:Frequency Division Multiple Access
TDD	:Time Division Duplex
GFSK	:Gaussian filtered binary Frequency-Shift Keying

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อ (ต่อ)

ADPCM	:Adaptive Differential Pulse Code Modulation
CRC	:Cyclic Redundancy Check
ETSI	:European Telecommunication Standard Institute
OSI	:Open System Interconnection
MAC	:Medium Access Control layer
TDMA	:Time Division Multiple Access
DLC	:Data Link Control layer
GMSK	:Gaussian Minimum Shift Keying
PH	:Portable Handset
CTA	:Cordless Terminal Adapter
RFP	:Radio Fixed Part
CC	:Cordless Controller หรือ Cluster Controllers
$\pi/4 - \text{DQPSK}$: $\pi/4$ Differential Quadrature Phase Shift Keying
WPABX	:Wireless Private Automatic Exchange
SU	:Subscriber Unit
RP	:Radio Port Control
RPCU	:Radio Port Control
AM	:Access Manager
EOC	:Embedded Operations Channel
TCC	:Telecommunications Technical Committee
ISDN	:Integrated Services Digital Network
SCP	:Service Control Point
BC	:Billing Center
NMS	:Network Management System
WLL	:Wireless Local Loop
ARIB	:Association of Radio and Industries and Businesses
HLR	:Home Location Register
TOT	:Telephone Organization of Thailand
GSP	:Group Switching Processor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อ (ต่อ)

AT&T	:American Telephone & Telegraph
BRI	:Basic rate Interface
CDR	:Call Detail Record
SS7	:Signaling System No.7
PABX	:Private Automatic Branch Exchange
SSP	:Service Switching Point
CCH	:Control Channel
TCH	:Traffic Channel
SCCH	:Signaling Control Channel



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การติดต่อสื่อสารระหว่างบุคคลในสภาวะการณ์ปัจจุบันนี้นั้น เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่ง ในการดำเนินชีวิต เนื่องจากความต้องการความรวดเร็วในการติดต่อในเรื่องส่วนตัวหรือด้านธุรกิจ เพราะในสังคมปัจจุบันมีการแข่งขันกันค่อนข้างสูง การรับรู้ข่าวสารที่รวดเร็วย่อมมีความได้เปรียบ ในการเจริญเติบโตทางด้านภาคธุรกิจ โครงข่ายสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทยได้พัฒนาให้มีความทันสมัยสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในประเทศด้วยความร่วมมือจากภาครัฐและภาคเอกชน เพื่อให้รองรับกับความต้องการการใช้งานด้านต่างๆ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตทั้งทางด้านเศรษฐกิจ และสังคมของประเทศไทย

มนุษย์ได้มีการพัฒนาการติดต่อสื่อสารกันระหว่างบุคคล จากการใช้ลักษณะท่าทางในการติดต่อกันก็ได้มีคิดค้นภาษาพูดและภาษาเขียนขึ้นมา ซึ่งเป็นการสื่อสารกันในระยะทางที่ใกล้ๆ เมื่อมนุษย์ได้คิดค้นพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ขึ้นมาทำให้การติดต่อสื่อสารระหว่างกันสามารถมีระยะทางที่ไกลขึ้นได้ ระบบโทรศัพท์ก็เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ติดต่อสื่อสารในระยะทางไกล ซึ่งวิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์ก็ได้เริ่มต้นจากระบบที่ใช้สายเชื่อมต่อเพื่อสื่อสารกันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ จากนั้นก็ได้มีการคิดค้นระบบที่ใช้คลื่นวิทยุในการเชื่อมต่อกันแทนการใช้สาย เช่น โทรศัพท์ระบบเซลลูลาร์ หรือโทรศัพท์ไร้สายแบบต่างๆ ซึ่งจะช่วยรองรับผู้ใช้งานที่อยู่ในบริเวณที่ระบบโทรศัพท์พื้นฐานไม่สามารถให้บริการได้ และเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน

สำหรับประเทศไทยนั้นก็ได้เริ่มให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปี พ.ศ. 2529 โดยองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (ทศท.) หรือ บริษัท ทศท. คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) โดยระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบแรกที่ได้นำมาใช้ คือระบบ NMT-450 แต่เนื่องจากความถี่ย่าน 450 MHz ได้ถูกใช้งานในกิจการอื่นอยู่แล้ว จึงได้เปลี่ยนไปใช้งานที่ย่านความถี่ 470 MHz ต่อมาในปี พ.ศ. 2530 การสื่อสารแห่งประเทศไทย (กสท.) หรือ บริษัท กสท. โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) ได้นำเอาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ AMPS มาใช้ในประเทศไทย และต่อมาได้ว่าจ้างให้บริษัท TACS (Total Access Communication System) หรือ บมจ. โทเทิล แอ็คเซ็ส คอมมูนิเคชั่น (Total Access Communication Public Co., LTD. : DTAC) ทำการให้บริการเพิ่มในระบบ AMPS System B ที่จากเดิม กสท. ให้บริการในระบบ System A โดยใช้ชื่อว่าระบบเวิลด์โฟน (World phone) และในปี พ.ศ. 2533 ทาง ทศท. ได้ให้สัมปทานแก่ บมจ. แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส (Advanced Info Service Public Co., LTD. : AIS) ในการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT-900 ดังนั้นโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทยที่เป็นระบบอนาล็อกจะมีอยู่ 3 ระบบคือ NMT-470, NMT-900 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ AMPS-800 แต่เนื่องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบอนาล็อกมีคุณภาพ และการพัฒนาระบบที่จำกัด จึงทำให้มีการนำเอาระบบดิจิทัลมาให้บริการ ซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัลที่ใช้อยู่ในประเทศไทยนี้ คือ ระบบดิจิทัล GSM (Global System for Mobile communication) ระบบดิจิทัล PCN 1800 (PCN : Personal Communication Network) ระบบดิจิทัล CDMA (Code Division Multiple Access) ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT (Personal Communication Telephone : PCT) ซึ่งในปัจจุบันบริษัทต่างๆ ที่ให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็ได้นำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในประเทศไทย เพื่อรองรับการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น และสามารถที่จะใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ไม่เพียงแต่การส่งเสียงเท่านั้น แต่ยังสามารถที่จะใช้ในการส่งข้อมูลที่ไม่ใช่เสียงได้ เช่น ส่งข้อความสั้น ข้อมูลที่เป็นรูปภาพ หรือข้อมูลที่เป็นภาพเคลื่อนไหวได้ เป็นต้น

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (Personal Communication Telephone : PCT) หรือโทรศัพท์ระบบ PCT เป็นโทรศัพท์ส่วนบุคคลระบบหนึ่งในประเทศไทยที่มีผู้ใช้บริการเป็นจำนวนมาก อันเนื่องมาจากค่าบริการค่อนข้างถูก มีเลขหมายเดียวกับโทรศัพท์บ้านและยังสามารถใช้งานได้ทั้งภายในและภายนอกอาคาร รวมถึงถนนหนทางต่างๆ ด้วย และเนื่องจากการใช้งานโทรศัพท์ระบบ PCT ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้งานในพื้นที่สาธารณะซึ่งเป็นเขตตัวเมืองที่มีประชากรค่อนข้างหนาแน่นทำให้ต้องมีการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณของโครงข่ายให้สามารถรองรับการใช้งานที่เพิ่มขึ้น การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณของสถานีเซลล์ (Cell Station : CS) ในระบบ PCT ให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่เขตเมืองนั้นมีปัจจัยมากมายที่ทำให้การปรับปรุงคุณภาพสัญญาณไม่เป็นไปตามความคาดหมายที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาปัจจัยต่างๆ ก่อนการตัดสินใจปรับปรุงสัญญาณสถานีเซลล์

ในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณของสถานีเซลล์ เช่น เพิ่มลดกำลังส่ง เปลี่ยนชนิดของสายอากาศ หรือตำแหน่งการติดตั้ง ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาคือขึ้นเป็นเพราะอ้างอิงรูปแบบพื้นที่ครอบคลุมของสถานีเซลล์เบื้องต้น [1] โดยไม่ได้คำนึงถึงความเป็นจริงในการแพร่กระจายคลื่น การส่งสัญญาณจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องลูกข่าย (Personal Station : PS) นั้น คลื่นจะเดินทางผ่านสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันในพื้นที่ ซึ่งในพื้นที่เขตเมืองนั้นจะมีสิ่งก่อสร้างต่างๆ ที่มนุษย์สร้างขึ้น ถ้าสิ่งก่อสร้างเหล่านี้มีขนาดเท่ากับความยาวคลื่นที่แพร่กระจาย จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการแพร่กระจายคลื่นไปจากเดิม เช่น เกิดการแตกกระจายของคลื่น (Scatter) เกิดการสะท้อนของคลื่น (Reflect) เป็นต้น ดังนั้นค่าระดับสัญญาณของเครื่องลูกข่ายที่รับได้จะต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมของการแพร่กระจายคลื่นด้วย

การแพร่กระจายคลื่นในพื้นที่เขตเมืองนั้น สามารถแยกคลื่นที่เดินทางจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องลูกข่ายได้ 2 ประเภท คือ คลื่นตรง (Direct wave) และคลื่นสะท้อน (Reflect wave) โดยเครื่อง

ลูกข่ายจะรับคลื่นตรงจากทิศทางเดียวและมีระดับสัญญาณแรงที่สุด ส่วนคลื่นสะท้อนจะรับได้จากทุกทิศทางที่เข้ามาแต่จะมีระดับสัญญาณที่อ่อนกว่า มีเฟสของคลื่นที่เหมือนและแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการเสริมหรือหักล้างกัน ทำให้ระดับสัญญาณที่รับได้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ โดยจะเรียกลักษณะการเกิดแบบนี้ว่า การเฟดดิ้งของสัญญาณ ซึ่งในการติดตั้งสถานีเซลล์ของโทรศัพท์ระบบ PCT นั้นจะติดตั้งบนเสาไฟฟ้าบริเวณข้างถนน ซึ่งส่วนมากจะต่ำกว่าความสูงของตัวอาคาร ทำให้บดบังการแพร่กระจายคลื่นตรงจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในเส้นทางที่เรียกว่า ระดับแนวสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS) ดังนั้นสัญญาณที่รับได้ในเส้นทาง NLOS จะเกิดจากคลื่นที่สะท้อนกับตัวอาคาร ซึ่งจะส่งผลให้เกิดค่าลดทอน และการเฟดดิ้งของสัญญาณสูงกว่าในเส้นทางระดับแนวสายตา (Line-of-Sight: LOS) ทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเปลี่ยนไปจากรูปแบบมาตรฐานได้ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาในเรื่องค่าลดทอนที่เกิดจากมุมอาคารและวิธีการคำนวณเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณของสถานีเซลล์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

การปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณหรือติดตั้งสถานีเซลล์ในพื้นที่นั้นต้องการความสะดวกและรวดเร็ว โดยบางครั้งไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ในพื้นที่ ซึ่งบางอย่างเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพให้โครงข่ายสามารถรองรับการใช้งานเพิ่มขึ้น จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในพื้นที่เขตเมืองนั้นมีสภาพแวดล้อมส่วนมากเป็นตัวอาคารที่อยู่สองข้างถนน การที่จะทำการออกแบบจุดติดตั้งสถานีเซลล์ในพื้นที่เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานได้ ควรจะต้องศึกษาวิธีการแพร่กระจายคลื่นของสถานีเซลล์ในเขตเมืองและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบกับค่าลดทอนของสัญญาณ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือศึกษาวิธีการแพร่กระจายคลื่น และปัจจัยที่สำคัญเหล่านั้น เพื่อสามารถที่จะนำเสนอทฤษฎีและสมการที่มีอยู่แล้วที่เหมาะสม ในการคำนวณค่าลดทอนของสัญญาณเพื่อใช้พิจารณาตัดสินใจ ปรับปรุงสถานีเซลล์บริเวณที่คาดว่าจะมีปัญหา ซึ่งวิธีการที่นำเสนอานั้นสามารถนำไปใช้งานกับระบบโทรศัพท์ PCT ได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับสถานีเซลล์ชนิดไมโครเซลล์

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการวิจัยในพื้นที่เขตเมืองซึ่งสิ่งแวดล้อมส่วนมากจะเป็นตัวอาคารสองข้างถนน การแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์นั้นจะแพร่กระจายไปตามเส้นทางในระดับแนวสายตา (Line-of-Sight: LOS) และสะท้อนกับอาคารบริเวณข้างถนนแพร่กระจายเข้าไปยังเส้นทางในระดับแนวสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS) ด้วย ในกรณีถนนที่เป็น LOS ปัจจัยที่สำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ส่งผลกับค่าระดับของสัญญาณคือความสูงของสถานีเซลล์ การแพร่กระจายคลื่นนั้นจะแพร่กระจายไปยังถนนที่มีรูปแบบและขนาดแตกต่างกัน จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการแพร่กระจายคลื่นเข้าไปยังถนนที่เป็น NLOS นั้น เกิดจากการสะท้อนกับตัวอาคารในเส้นทาง LOS ดังนั้นระดับสัญญาณที่รับได้หลังจากมุลีของอาคารต่างๆ ย่อมจะแตกต่างกัน การที่ใช้รูปแบบพื้นฐานของพื้นที่ครอบคลุมของสถานีเซลล์อาจจะไม่ถูกต้องและเหมาะสมเสมอไป การสะท้อนไปมาระหว่างตัวอาคารทำให้ระยะทางการเดินทางของคลื่นระหว่างสถานีเซลล์กับเครื่องลูกข่ายเพิ่มมากขึ้น ทำให้ค่าการลดทอนสัญญาณควรจะสูงกว่าในเส้นทาง LOS

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การคาดคะเนค่าสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นของสถานีเซลล์แบบไมโครเซลล์ในพื้นที่เขตเมืองโดยใช้หลักการสะท้อนและหักเหของคลื่นนั้นมีหลากหลายวิธี เช่น Image Method, Knife-edge, GTD (Geometrical Theory of Diffraction) และ UTD ซึ่งแต่ละวิธีนั้นจะมีขั้นตอนและการคำนวณที่มีความยุ่งยากและซับซ้อน สำหรับสมการในการคำนวณค่าการสูญเสียเพื่อออกแบบการติดตั้งสถานีเซลล์ของโทรศัพท์ระบบ PCT ได้เคยมีผู้นำเสนอใน [2] ซึ่งเป็นวิธีการคำนวณสำหรับพื้นที่นอกเมืองเพื่อออกแบบการติดตั้งสถานีเซลล์ในการรองรับการใช้งานในถนนหลัก ดังนั้นวิธีการในการคำนวณค่าการสูญเสียที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะใช้สำหรับพื้นที่เขตเมืองที่มีสิ่งแวดล้อมส่วนมากเป็นตัวอาคาร และเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากและซับซ้อน เพื่อทำให้ง่ายกับการนำไปใช้งานจริง

การติดตั้งสถานีเซลล์ของโทรศัพท์ระบบ PCT ในพื้นที่เขตเมืองนั้นส่วนมากจะติดตั้งที่ความสูงใกล้เคียงกัน ดังนั้นกรณีของถนนที่เป็น LOS การคำนวณค่าการสูญเสียจะใช้สมการหาค่าสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น โดยอาศัยการคาดคะเนแบบจุดต่อจุดจะสามารถทำได้ด้วยการวัดระดับกำลังงานของสัญญาณเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละจุดเทียบกับระยะทางในพื้นที่ต่างๆ แล้วหาค่าระดับกำลังงานของสัญญาณที่มีการลดลง หรือค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางในลักษณะของฟังก์ชันเชิงเส้นด้วยการใช้สเกลลอการิทึม (Log-normal distribution) ในหน่วย dB

กรณีของเส้นทาง NLOS การแพร่กระจายคลื่นจะเกิดจากการสะท้อนกับตัวอาคารในเส้นทาง LOS และค่าการสูญเสียจะเกิดขึ้นตามการสะท้อนไปมาระหว่างตัวอาคาร โดยขั้นตอนแรกจะทำการสร้างโมเดลตำแหน่งของตัวอาคารที่จำลองแบบเป็นรูปบล็อกสี่เหลี่ยม และรูปแบบของถนนให้ใกล้เคียงกับพื้นที่จริง เพื่อหาเส้นทางการเดินทางของคลื่น ซึ่งจะช่วยให้ทราบค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้คำนวณหาค่าลดทอนที่เกิดจากมุลีของอาคารในเส้นทาง สำหรับนำไปใช้คำนวณในสมการการสูญเสียเฉลี่ยของคลื่นที่เดินทางใน NLOS และทำการพล็อตกราฟแสดงระดับสัญญาณของคลื่นตลอดเส้นทางที่คลื่นเดินทางจากจุดติดตั้งสถานีเซลล์ไปตามถนนต่างๆ เพื่อแสดงให้เห็นพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานวิจัยเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์หรือต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครอบคลุมของสถานีเซลล์ และใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาว่าการติดตั้งที่จุดนี้ สถานีเซลล์สามารถรองรับการใช้งานจากเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในพื้นที่ที่ต้องการได้หรือไม่

1.5 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำการศึกษาวิจัยในเรื่องที่เกี่ยวกับค่าการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นของสถานีเซลล์ชนิดติดตั้งภายนอกอาคารของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT ในพื้นที่เขตเมือง นำเสนอสมการที่ใช้คำนวณค่าการสูญเสียในเส้นทาง LOS และ NLOS และทำการพล็อตกราฟแสดงระดับสัญญาณของคลื่น เพื่อใช้พิจารณาจุดติดตั้งสถานีเซลล์ให้สามารถรองรับการใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด การทดลองในงานวิจัยนี้ใช้พื้นที่ของสยามสแควร์ เนื่องจากมีรูปแบบของตัวอาคารในพื้นที่เป็นบล็อกสี่เหลี่ยม ซึ่งจะแสดงให้เห็นเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นใน LOS และ NLOS และวิธีการคำนวณได้อย่างชัดเจน และได้พิจารณาข้อมูลบริเวณที่มีการใช้งานค่อนข้างมากในสยามสแควร์จากบทความ [3] เพื่อเป็นตัวอย่างในการใช้สมการที่นำเสนอหาจุดติดตั้งเพิ่มเติมสถานีเซลล์ ในพื้นที่ที่ต้องการ

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

การศึกษาข้อมูลในงานวิจัยนี้ จะเริ่มต้นด้วยการศึกษาเนื้อหาทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT) เช่น โครงข่ายของโทรศัพท์ PCT การทำงานของสถานีเซลล์ วิธีการข้ามเซลล์ ชนิดและรูปแบบพื้นที่ครอบคลุมของสถานีเซลล์ เป็นต้น ขั้นตอนต่อมาได้ศึกษาการแพร่กระจายคลื่นเบื้องต้นของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ การแพร่กระจายคลื่น และสมการที่ใช้คำนวณค่าการสูญเสียในเส้นทาง LOS และ NLOS ของสถานีเซลล์ชนิด ไมโครเซลล์

โดยวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้จัดแบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 ได้กล่าวถึงบทบาท และความจำเป็นในการใช้ระบบโทรศัพท์ในการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน การริเริ่มการให้บริการระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทย จนถึงปัจจุบัน รวมทั้งได้กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 ได้กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นของโทรศัพท์ระบบ ไร้สาย ซึ่งจะประกอบด้วยวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารแบบ ไร้สาย โดยเริ่มจากจากระบบแบบอนาล็อกไปสู่ระบบดิจิทัลในแบบต่างๆ เช่น CT2 (Cordless Telephone generation Two) ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone) ระบบ PACS (Personal Access Communication Systems) และระบบ PHS (Personal Handy – phone System) สุดท้ายก็ได้กล่าวถึงระบบโทรศัพท์พื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พหุคูณบุคคลพีซีที ซึ่งได้อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุคูณบุคคลพีซีที คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุคูณบุคคลพีซีที สุดท้ายก็จะเป็นกรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุคูณบุคคลพีซีที

บทที่ 3 ได้กล่าวถึงทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งจะประกอบไปด้วยหลักการแพร่กระจายคลื่น โดยจะอธิบายการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศแบบไอโซโทรปิกในลักษณะรอบทิศทาง และค่าการลดทอนของสัญญาณด้วยสมการที่เกี่ยวข้อง อธิบายกลไกพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ ซึ่งกลไกพื้นฐานนั้นจะประกอบไปด้วย การสะท้อนของคลื่น การหักเหของคลื่น และการกระเจิงของคลื่น สุดท้ายได้อธิบายและแสดงตัวอย่างวิธีการหาค่าสูญเสียของสัญญาณ เช่น วิธีการของ Okumura วิธีการของ HATA สำหรับเซลล์ขนาดเล็กวิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami และ วิธีการของ C.Y. Lee

บทที่ 4 ได้กล่าวถึงวิธีการที่นำเสนอและผลการทดลองในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยรูปแบบเส้นทางบนถนนไมโครเซลล์ การวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นและสมการในการคำนวณค่าการสูญเสียในเส้นทาง LOS และ NLOS ผลการทดลองซึ่งได้ทำการทดสอบเส้นทางของการแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์จำนวน 2 ตัว โดยสถานีเซลล์ตัวที่ 1 จะทำการทดสอบทั้งหมด 5 เส้นทาง คือ P1 ถึง P5 สถานีเซลล์ตัวที่ 2 จะทำการทดสอบทั้งหมด 4 เส้นทางคือ P6 ถึง P9 โดยจะแสดงค่าการลดทอนจากมุมอาคาร และรูปภาพเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จริงในพื้นที่ของเส้นทางต่างๆเหล่านั้น สุดท้ายจะเป็นข้อเสนอแนะตำแหน่งติดตั้งสถานีเซลล์เพิ่มเติมในพื้นที่สยามสแควร์

บทที่ 5 เป็นบทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองที่ได้จากการวิจัย

บทที่ 2

ความรู้เบื้องต้นของโทรศัพท์ระบบไร้สาย

ปัจจุบันการสื่อสารไร้สายได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ดังจะเห็นได้จากมีการให้บริการ รูปแบบใหม่ ๆ เกิดขึ้นตลอดเวลา เช่น การให้บริการโทรศัพท์แบบดิจิทัล การให้บริการข้อมูลข่าวสารรูปแบบต่าง ๆ การให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ระบบเซลลูลาร์ หรือการให้บริการภาพซึ่งการพัฒนาของเทคโนโลยีใหม่ดังกล่าวนี้ พอจะจำแนกได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ ส่วนการพัฒนา ระบบเครือข่าย ส่วนที่ 2 คือ การพัฒนาในส่วนของเครื่องให้บริการ ในส่วนของการพัฒนาระบบ เครือข่ายการสื่อสารแบบไร้สายนั้น จะมีการพัฒนาการเป็นลำดับขึ้นจากระบบอนาล็อก สู่ระบบ ดิจิตอลซึ่งการพัฒนาในระบบการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ ในระยะแรก จะสร้างโครงข่ายเป็นขนาด ใหญ่ ซึ่งอาจมีรัศมี 50 กิโลเมตร จึงก่อให้เกิดปัญหาอยู่ 2 ประการ คือ ประการแรก สัญญาณ วิทยุที่อยู่ใกล้และไกลจากสถานีฐานมีความแรงสัญญาณไม่เท่ากัน ทำให้การควบคุมระดับสัญญาณ เป็นไปด้วยความยากลำบาก ประการที่สอง ต้องใช้กำลังส่งสูง ทำให้เครื่องบริการมีขนาดใหญ่ ไม่เหมาะสมกับการพกพาติดตัวไปยังสถานที่ต่าง ๆ ต่อมาจึงได้พัฒนาเข้าสู่ระบบ เซลลูลาร์ โดยใช้เซลล์ขนาดเล็กลงในรัศมีประมาณ 10-20 กิโลเมตร นอกจากนี้การใช้เทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ในเซลล์ที่อยู่ไกลออกไป เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนของสัญญาณระหว่างเซลล์ข้างเคียง ขึ้น ทำให้การควบคุมสัญญาณดีขึ้น จากนั้นก็ได้การพัฒนาระบบแยก หรือการแบ่งเซลล์ออกเป็น หลาย ๆ ส่วน เพื่อลดขนาดของเซลล์ลง จึงทำให้หนึ่งสถานีฐานจะต้องดูแลเครื่องเคลื่อนที่หลาย จำนวนหลายร้อยเครื่องหรืออาจเป็นพัน ๆ เครื่อง เมื่อมีผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหา การขาดหายไปของสัญญาณ (Muting) หรือการเกิดรบกวนทางความถี่ ของช่องสัญญาณข้างเคียงที่ ใช้ความถี่เดียวกัน (Co-channel interference) อันเกิดขึ้นเนื่องจากการติดตั้งสถานีฐานด้วยระยะ ห่างที่มากหรือน้อยเกินไปตามลำดับ นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีมักจะเกิดขึ้นก็คือ ปัญหาการโทรไม่ติดทั้งๆ มีการใช้งานในพื้นที่การให้บริการ อันเนื่องจากระดับของสัญญาณที่ได้รับมีความแรงไม่เพียงพอต่อการติดต่อ โดยผู้ใช้บริการสามารถสังเกตได้จากระดับของสัญญาณ จากเครื่องให้บริการ โดยปกติแล้วลักษณะพื้นที่ในเขตตัวเมืองจะเป็นที่ราบ แต่บางพื้นที่จะมี ลักษณะไม่ราบเรียบ อาจจะทำให้เกิดการกีดขวางเส้นทางการเดินของคลื่น ซึ่งจะแตกต่างจากการ กีดขวางอันเนื่องมาจากสิ่งก่อสร้างที่คลื่นสามารถสะท้อนจากตัวอาคารมายังเครื่องรับได้ ทำให้เกิด พื้นที่ที่เรียกว่า โฮล (Hole) หรือจุดบอดของสัญญาณขึ้น วิธีการแก้ไขก็คือ การเปลี่ยนแปลงความ สูงของสายอากาศส่ง เพื่อให้เส้นทางการเดินทางของคลื่นพ้นสิ่งกีดขวาง แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้น ก็ คือ ทำให้ขอบเขตของเซลล์ครอบคลุมพื้นที่กว้างขึ้น และเหลื่อมล้ำเข้าไปในเซลล์ข้างเคียง ทำให้ เกิดการอินเตอร์เฟียร์เร้นซ์ขึ้น ซึ่งวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จะต้องใช้ต้นทุนสูง ดังนั้นวิศวกรจึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ทำการพัฒนาระบบโครงข่ายใหม่ที่ใช้เทคนิคของเซลล์ขนาดเล็ก เช่น ไมโครเซลล์ หรือนาโนเซลล์ เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่บริการได้มากขึ้น และลดปัญหาอันเนื่องมาจากการเกิดอินเตอร์เฟียร์เร้นท์ ซึ่งอาจจะถือได้ว่าเป็นวิธีการเดียวที่สามารถแก้ปัญหาการเกิดจุดบอดของสัญญาณได้

ในส่วนของเครื่องให้บริการ ก็มีการพัฒนาจากเครื่องให้บริการที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ติดตั้งกับรถยนต์ ซึ่งเป็นระบบอนาล็อก ก็พัฒนามาสู่เครื่องให้บริการหิ้วถือ และเครื่องให้บริการในระบบดิจิทัล เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์ โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส โดยตัวเครื่องจะมีขนาดเล็กลง สามารถพกพาได้อย่างสะดวกสบาย อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถใช้งานได้ในความถี่สูง ๆ อีกทั้งยังมีการพัฒนาในด้านโครงข่ายต่าง ๆ เช่น โครงข่ายการให้บริการร่วมระบบดิจิทัล โครงข่ายของระบบควบคุม SS#7 หรือโครงข่ายที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์อันชาญฉลาด หรือที่เรียกกันว่า โครงข่ายอัจฉริยะ ซึ่งการพัฒนาโครงข่ายทั้งหมดดังที่ได้กล่าวมานี้จะนำไปสู่ระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล โดยเครื่องให้บริการจะมีขนาดเล็ก กะทัดรัด น้ำหนักเบา สะดวกในการพกพาไปยังที่ต่าง ๆ ราคาถูก เมื่อเทียบกับโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ มีกำลังส่งต่ำ ทำให้ประหยัดพลังงานและมีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่นานต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง โดยระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล (PCS : Personal Communication System) ที่เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย เช่น CT2 (Cordless Telephone generation Two) ระบบ PACS (Personal Access Communication System) ระบบ DECT (Digital Cordless Telephone) และระบบ PHS (Personal Handyphone System)

สำหรับการพัฒนาระบบการสื่อสารแบบไร้สายในประเทศไทย ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสมาใช้ และทำการปรับปรุง โดยเพิ่มเติมส่วนของโครงข่ายอัจฉริยะเพื่อสามารถให้บริการในลักษณะบริการเสริมของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ โดยมีเลขหมายเดียวกับโทรศัพท์บ้าน และเรียกการสื่อสารแบบไร้สายในระบบนี้ว่า ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (PCT : Personal Communication Telephone) โดยองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย หรือบริษัท ทศท. คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ได้อนุมัติให้บริษัท เทเลคอมเอเชีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) (TA) หรือ บริษัท ทู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) (TRUE) เป็นผู้ดำเนินการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล

2.1 วิวัฒนาการของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย

ตั้งแต่ก่อนปี ค.ศ.1990 การสื่อสารแบบไร้สายได้มีการพัฒนาการอย่างรวดเร็วโดยมีการพัฒนาจากระบบอนาล็อกสู่ระบบดิจิทัล จากการให้บริการเสียงสู่การให้บริการแบบหลายสื่อ หรือที่เรียกว่า “การให้บริการมัลติมีเดีย” โดยวิวัฒนาการเหล่านี้เป็นจุดเริ่มต้นที่จะนำไปสู่เทคโนโลยีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งเป็นระบบที่มีการพัฒนาขึ้นมาอย่างรวดเร็วควบคู่ไปกับการพัฒนาโครงข่ายคอมพิวเตอร์หรือระบบอินเทอร์เน็ต ที่มีความสามารถในการส่งสัญญาณข้อมูลด้วยความเร็วที่เทียบเท่าระบบการส่งสัญญาณแบบใช้สาย โดยมีการพัฒนาการส่งสัญญาณเสียงด้วยอัตราเร็ว 1 ถึง 2 Mbps สำหรับการบริการมัลติมีเดีย รวมทั้งการส่งสัญญาณวิดีโอ ซึ่งจะต้องใช้งานแถบความถี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่จะสามารถทำได้ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ (GSM : Global System for Mobile) และระบบโทรศัพท์ดิจิทัลส่วนบุคคล (PDC : Personal Digital Cellular) เพื่อใช้ในการสื่อสารในการบริการร่วมแบบใช้เสียง หรือไม่ใช้เสียงก็ตาม แต่อัตราในการส่งสัญญาณยังคงจำกัดอยู่ที่ 10 kbps ซึ่งเป็นอัตราการส่งสัญญาณที่ต่ำเกินไปสำหรับการให้บริการมัลติมีเดีย ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเข้าสู่ระบบการสื่อสารแบบไร้สายดิจิทัลเข้าสู่ระบบการสื่อสารในยุคที่สาม โดยมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการสื่อสารจากวิธีการมอดูเลตแบ่งรหัส (CDMA : Code Division Multiple Access) นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาเทคนิคของการเข้าและถอดรหัส (Modulation/Demodulation) ระบบของวงจรโครโมไนซ์ (Synchronization) รวมทั้งคุณลักษณะพิเศษของหลักการแพร่กระจายคลื่น (Propagation path characteristics) ของระบบการสื่อสารแบบไร้สายด้วย

การพัฒนาการสื่อสารแบบไร้สายนั้น หลาย ๆ ระบบได้พัฒนาจากระบบอนาล็อกสู่ระบบดิจิทัล เพื่อสามารถนำมาใช้งานในรูปแบบมัลติมีเดียร่วมกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ระบบสื่อสารไร้สายแบบดิจิทัลจะมีพื้นที่ครอบคลุมน้อยกว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมทั้งมีขนาดเล็กลง เพื่อสะดวกในการพกพา หลังจากปี ค.ศ.1980 ได้เริ่มมีการใช้งานโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลอย่างแพร่หลาย ถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ให้บริการที่สามารถให้บริการภายในตัวอาคาร บ้าน สำนักงาน หรือภายนอกอาคาร เช่น สถานีรถไฟ เป็นต้น แต่ด้วยคุณภาพของการทำงานที่เทียบเท่าโทรศัพท์ไร้สาย จึงได้มีการนำเทคนิคการใช้เซลล์ขนาดเล็กมาใช้ เพื่อขยายพื้นที่การให้บริการ และพัฒนาไปสู่ระบบการสื่อสารส่วนบุคคล

2.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก

ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก [4] มีความนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการใช้งานสำหรับที่พักอาศัย โดยใช้คลื่นวิทยุในการเชื่อมต่อแทนการใช้สาย เพื่อให้ผู้ใช้สามารถที่จะเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนก็ได้ ในขณะที่มีการใช้งาน ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกได้ถูกนำมาใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นเวลานานพอสมควรแล้ว โดยในระยะแรก ความถี่ที่จัดสรรให้กับโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก จะใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (FDD : Frequency Division Duplex) แบ่งออกเป็น 2 แถบความถี่ ๆ ละ 10 ช่องสัญญาณ โดยในแถบความถี่แรกจะอยู่ในย่าน 49 MHz ใช้สำหรับการส่งสัญญาณจากตัวเครื่องโทรศัพท์ไปยังสถานีฐาน (Uplink หรือแถบความถี่ขาขึ้น) ส่วนแถบความถี่ที่สองจะอยู่ในย่าน 1.6 MHz ใช้สำหรับการส่งสัญญาณจากสถานีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานไปยังตัวเครื่องโทรศัพท์ (Downlink หรือแถบความถี่ขาตั้ง) แต่การจัดสรรความถี่ในลักษณะนี้ไม่ค่อยจะมีประสิทธิภาพในการทำงานมากเท่าไรนัก ต่อมาในปี 1984 จึงได้มีการจัดสรรแถบความถี่ โดยใช้แถบความถี่ลงย่าน 46.6 – 47.0 MHz และใช้แถบความถี่ขาขึ้นในย่าน 49.6 – 50.0 MHz และแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 10 ช่อง ๆ ละ 40 kHz มีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเป็น 20 kHz และมีค่ากำลังการแผ่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นจริง (ERP : Effective Modulation) แบบอนาล็อกสำหรับสัญญาณเสียง นอกจากนี้ยังมีการเข้ารหัสสัญญาณแบบดิจิทัลเพื่อรักษาความปลอดภัยของระบบสัญญาณ แต่ยังคงมีความพยายามจากภาคอุตสาหกรรมทางโทรคมนาคม ที่จะขอเพิ่มจำนวนคู่ความถี่ เพื่อแก้ไขปัญหาความแออัดของการใช้สัญญาณและคุณภาพของเสียงที่ด้อยลง เนื่องจากมีปริมาณการใช้งานสูง จึงทำให้เกิดการรบกวนกันของสัญญาณ หรือการอินเตอร์เฟอเรนซ์ (Interference) จึงทำให้คุณภาพของเสียงด้อยลง ลักษณะการใช้งานของโทรศัพท์ไร้สายโดยทั่วไปแล้ว จะใช้อยู่ในบริเวณที่มีขอบเขตจำกัด เช่น บ้าน อาคาร ที่พักอาศัย สำนักงาน หรือตึกสูง ๆ และใช้งานที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำ เช่น ความเร็วในการเดิน เป็นต้น

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

ในยุโรป มีการนำมาตรฐานโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกที่เรียกว่า ระบบ CEPT/CT1 มาใช้โดยโทรศัพท์ไร้สายในระบบนี้ จะใช้เทคนิคการคูณเฟรควเ้นซ์แบบแบ่งความถี่ออกเป็น 2 แถบความถี่ ๆ ละ 40 ช่องสัญญาณ มีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 25 kHz โดยใช้แถบความถี่ขาขึ้นในย่าน 914 – 915 MHz และแถบความถี่ขาตั้งในย่าน 959 – 960 MHz เครื่องโทรศัพท์ไร้สายระบบ CEPT/CT1 สามารถเลือกใช้ช่องความถี่จากช่องความถี่ทั้งหมด 40 ช่องความถี่ในการใช้งานแต่ละครั้ง จำนวนช่องความถี่ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ได้คุณภาพเสียงที่ดีกว่า และมีค่าความน่าจะเป็นของการโทรไม่ติดต่ำ จึงทำให้สามารถใช้งานได้ทั่วไป แม้ในบริเวณที่มีประชากรหนาแน่น เช่น ศูนย์การค้า สถานีขนส่ง โรงแรม หรือสนามบิน เป็นต้น

ในประเทศญี่ปุ่นได้มีการจัดสรรช่องความถี่คู่เฟรควเ้นซ์สำหรับโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกจำนวน 89 ช่องสัญญาณ ในย่านความถี่ 254 MHz สำหรับแถบความถี่ขาขึ้นและความถี่ 380 MHz สำหรับแถบความถี่ขาตั้ง โดยระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 12.5 kHz และมีกำลังส่งสูงสุด 10 mW ซึ่งมาตรฐานในประเทศญี่ปุ่น จะแตกต่างจากมาตรฐานของระบบ CEPT/CT1 โดยโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกของประเทศญี่ปุ่นนั้น จะประกอบด้วยช่องสัญญาณควบคุมจำนวนสองช่องสัญญาณเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารให้มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

2.3 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัล

ในขณะที่ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก สร้างขึ้นสำหรับการใช้งานภายในที่พักอาศัยระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลนั้นก็ทำการประยุกต์และพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อให้สามารถใช้งานได้ทั้งภายในอาคาร เช่น บ้าน ที่พักอาศัย สำนักงาน อาคารพาณิชย์ และภายนอกอาคาร เช่น ในย่านธุรกิจ หรือศูนย์การค้าต่าง ๆ ในการใช้งานระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลนั้น ผู้ใช้บริการสามารถที่จะเคลื่อนที่ไปยังที่ใดก็ได้ ขณะที่มีการสนทนากันอยู่ โดยสามารถจะเรียกใช้บริการ หรือยกเลิกการติดต่อได้ ในขณะที่เคลื่อนที่อยู่ในบริเวณที่คลื่นครอบคลุมถึง ด้วยความเร็วของการเดินเท้า ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลที่เป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ได้แก่ ระบบ CT2 (Cordless Telephone generation Two) [5] ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone) [6,7,8] ระบบ PACS (Personal Access Communication Systems) [9] และระบบ PHS (Personal Handy – phone System) [10]

2.3.1 ระบบ CT2

CT2 เป็นมาตรฐานระบบโทรศัพท์ไร้สายรุ่นที่สองที่มีการนำมาใช้ในประเศอังกฤษเมื่อปี 1989 โดยพัฒนามาจากระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกในยุคแรก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้งานระหว่างระบบโทรศัพท์แบบไร้สายแบบอนาล็อกและระบบ CT2 จะเห็นได้ว่าระบบ CT2 จะให้คุณภาพเสียงพูดที่ดีกว่า สามารถป้องกันสัญญาณรบกวน (Noise) การจางหายของสัญญาณ (Fading) และการเกิดสัญญาณแทรกซ้อนจากผู้ใช้บริการอื่น (Interference) จะมีรหัสเลขหมายส่วนบุคคล (PIN : Personal Identification Number) เพื่อป้องกันการลักลอบใช้งาน เครื่องโทรศัพท์ในระบบ CT2 มีเวลาในการสนทนา (Talk – time) นานถึง 3 ชั่วโมงและเวลาในเปิดเครื่องคอย (Standby time) ประมาณ 40 ชั่วโมง สำหรับการชาร์จแบตเตอรี่หนึ่งครั้ง และมีการจัดสรรช่องความถี่สัญญาณแบบไดนามิก ซึ่งสะดวกสบายในการออกแบบระบบ เนื่องจากการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกสามารถจัดสรรช่องความถี่ของสัญญาณให้แก่ผู้ใช้ได้อย่างอัตโนมัติในกรณีที่ช่องสัญญาณไม่เพียงพอต่อปริมาณการใช้บริการในขณะนั้น ทำให้สามารถรองรับการใช้บริการในบริเวณอาคาร สำนักงาน หรือภายในตัวเมืองที่มีผู้ใช้บริการหนาแน่น

ระบบ CT2 ได้รับการออกแบบมาให้ใช้สภาพสิ่งแวดล้อมที่เป็นบ้านเรือน รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่เป็นอาคารสำนักงาน สำหรับประเทศไทยได้นำระบบ CT2 นี้มาให้บริการโทรศัพท์ที่เรียกว่า “บริการโฟนพ้อยท์” (Phone - point Services) ซึ่งนิยมใช้กันมากในบริเวณศูนย์การค้า หรือบริเวณที่มีผู้คนหนาแน่น โดยการให้บริการโฟนพ้อยท์นั้น ผู้ใช้สามารถใช้เครื่องโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัลระบบ CT2 ที่จุดให้บริการโฟนพ้อยท์สาธารณะ (บริเวณตู้โทรศัพท์สาธารณะหรือเสาไฟฟ้า) เพื่อเชื่อมต่อเข้าสู่โครงข่ายโทรศัพท์สาธารณะ (PSTN : Public Switched Telephone Network) มีลักษณะการทำงานคล้ายกับโทรศัพท์สาธารณะแบบไร้สาย ระบบ CT2 มีการติดต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สื่อสารทางเดียว (One – way outgoing หรือ Half duplex) ผู้ใช้บริการสามารถทำการเริ่มต้นการเรียกและสนทนาได้ภายในรัศมีพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานเมื่อผู้บริการมีการเคลื่อนที่ออกนอกเซลล์ก็จะสูญเสียการเชื่อมต่อทันที นั่นคือ โทรศัพท์ระบบ CT2 นี้จะไม่มีการข้ามเซลล์หรือการแฮนด์โอเวอร์เกิดขึ้น

โทรศัพท์ไร้สายระบบ CT2 ที่ใช้ในระบอบอังกฤษจะเรียกระบบนี้ว่า “รับบิท (Rabbit)” ส่วนในประเทศฝรั่งเศสจะเรียกว่า “บิบีอป (Bibop)” ซึ่งการให้บริการยังไม่เป็นที่สนใจมากนัก แต่จะเป็นที่นิยมใช้ในประเทศแถบเอเชีย โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้งานร่วมกับระบบเพจเจอร์ ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบทิศทางเดียวเช่นเดียวกับระบบ CT2 ก็สามารถทำการสื่อสารได้แบบสองทิศทาง โดยเมื่อมีสัญญาณเรียกมายังเครื่องเพจเจอร์ ก็สามารถที่จะใช้โทรศัพท์ CT2 ในการติดต่อกลับไปยังผู้เรียก ซึ่งประเทศที่นิยมใช้ระบบ CT2 ในแถบเอเชีย ก็ได้แก่ ฮองกง จีน มาเลเซีย และประเทศไทย เป็นต้น

มาตรฐานของระบบ CT2 จะกำหนดวิธีการการติดต่อสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุระหว่างเครื่องโทรศัพท์ไร้สายชนิดอยู่กับที่ (CFP : Cordless Fixed Part) กับเครื่องโทรศัพท์ไร้สายชนิดพกพา (CPP : Cordless Portable Part) เอาไว้ โดยความถี่ที่จัดสรรไว้สำหรับระบบ CT2 ในโซนยุโรป และฮองกง อยู่ในช่วง 864.10 MHz ถึง 868.10 MHz และใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDD : Time Division Duplex) แบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 40 ช่องสัญญาณ โดยมีระยะห่างช่องสัญญาณเป็น 100 MHz มีการกำหนดเทคนิคในการเข้ารหัสเสียง (Speech coding techniques) รวมทั้งมาตรฐานการอินเตอร์เฟสทางอากาศของสัญญาณไว้สามเลขอร์ อันได้แก่

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

เลขอร์ที่สอง กำหนดการรับรู้ข้อมูลและการตรวจจับข้อผิดพลาด รวมทั้งการรักษาการติดต่อให้คงไว้

เลขอร์ที่สาม กำหนดโพรโตคอลที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างระบบ CT2 กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ โดยมาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศสำหรับระบบ CT2 จะแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบ CT2

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	864.15 – 868.05 MHz
เทคนิคการทำงาน	FDMA
เทคนิคการคูณเพื่อกซ์	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 (Dynamic)
ความไวของภาครับสัญญาณ	40 dB
ช่วงเวลาของเฟรม	2 ms
อัตราเร็วของช่องสัญญาณควบคุม (สุทธิ)	1000/2000 bps
การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	CRC

2.3.2 ระบบ DECT

ระบบ DECT เป็นมาตรฐานโทรศัพท์ไร้สายสากล ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยสถาบันมาตรฐานโทรคมนาคมของยุโรป (ETSI : European Telecommunication Standard Institute) โดยเป็นมาตรฐานเริ่มแรกทั่วยุโรป สำหรับโทรศัพท์ไร้สายซึ่งสำเร็จลงเมื่อเดือนกรกฎาคม ปี 1992 โดยมาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบ DECT จะแสดงดังตารางที่ 2.2

ระบบ DECT จะสามารถใช้ในการติดต่อสื่อสารในบริเวณที่มีความหนาแน่นของทราฟฟิกการใช้งานสูง โดยระบบ DECT สามารถที่จะให้บริการการสื่อสารได้ทั้งเสียง โทรสาร และข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเนื่องจากระบบ DECT มีลักษณะโครงสร้างตามมาตรฐาน OSI (Open Standard Interconnection) ดังนั้นจึงสามารถใช้บริการร่วมกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน สาธารณะโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิทัล และโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์อื่น ๆ เช่น ระบบ GSM (Global System for Mobile) หรือระบบ AMPS (Advanced Mobile Phone Service) เป็นต้น แต่เนื่องจากระบบ DECT ใช้กำลังส่งและรับต่ำ ดังนั้นจึงมีพื้นที่ครอบคลุมที่

จำกัด โดยจะใช้งานได้ในระยะทางประมาณ 50 ถึง 100 เมตรภายในตัวอาคาร และระยะทางประมาณ 500 เมตร สำหรับพื้นที่โล่ง

ระบบ DECT จะมีสถาปัตยกรรมตามมาตรฐาน OSI (Open System Interconnection) ในลักษณะเดียวกับโครงข่ายบริการร่วมระบบคิดิจิตอล (ISDN) โดยมีส่วนควบคุมและส่วนผู้ใช้บริการจะรับข้อมูลจากเลเยอร์ทางกายภาพและเลเยอร์ควบคุมการทำงาน (MAC : Medium Access Control layer) ซึ่งระบบ DECT สามารถที่ให้บริการได้ถึง 6,000 ราย โดยไม่จำเป็นที่จะต้องระบุตำแหน่งของผู้ใช้บริการ โดยเลเยอร์ของระบบ DECT จะประกอบไปด้วย

เลเยอร์ทางกายภาพ (Physical layer) ใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแบบแบ่งความถี่ (FDMA : Frequency Division Multiple Access) เทคนิคการส่งสัญญาณแบบแบ่งเวลา (TDMA : Time Division Multiple Access) และใช้เทคนิคการคู่เพื่อกซ์แบบแบ่งเวลา (TDD : Time Division Duplex) และใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกใน 1 ไทม์สล็อตของ TDMA จะเลือกใช้ 1 ช่องสัญญาณเพียงช่องเดียวจากจำนวนทั้งหมด 10 ช่อง โดยช่องสัญญาณมีแถบความกว้างเป็น 1.5×1152 kbps ซึ่งจะมีค่าความเร็วในการส่งข้อมูลเท่ากับ 1.728 MHz ในระบบ DECT หนึ่งเฟรม ประกอบด้วย 24 ไทม์สล็อตและจะแบ่งไทม์สล็อตออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ส่วนแรกจะใช้ในการส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่วนที่สอง จะใช้ในการส่งสัญญาณจากตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน โดยเฟรมของระบบ DECT จะมีช่วงเวลาเท่ากับ 10 ms โดยหนึ่งไทม์สล็อตจะมีขนาด 480 บิต ประกอบไปด้วยเป็นบิตซิงค์ ไครโนส 32 บิต บิตข้อมูล 388 บิตและบิตควบคุม 60 บิต

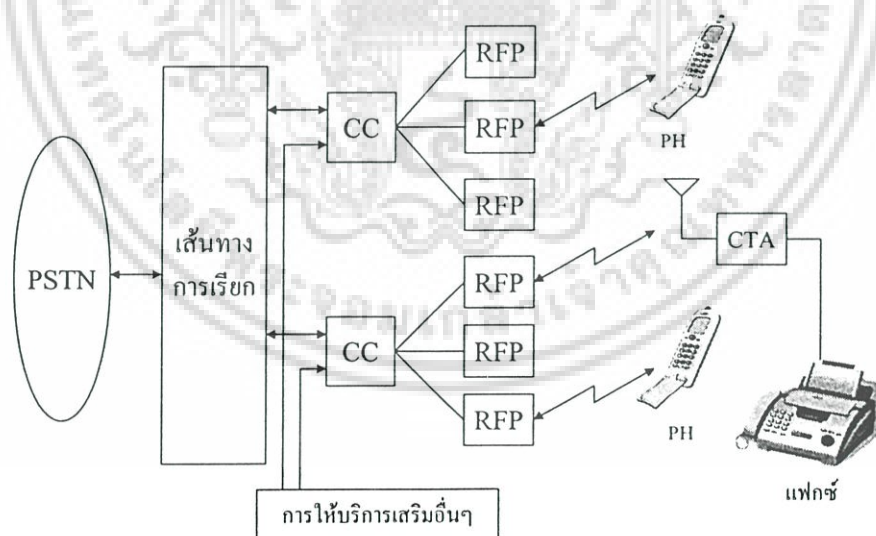
เลเยอร์ควบคุมการทำงาน (MAC : Medium Access Control layer) จะประกอบได้ด้วยช่องสัญญาณเรียก (Paging Channel) และช่องสัญญาณควบคุม (Control channel) สำหรับถ่ายโอนข้อมูลจากสัญญาณไปยังส่วนควบคุมและส่วนผู้ใช้บริการ มีอัตราเร็วของช่องสัญญาณของข้อมูลผู้ใช้บริการอยู่ที่ 32 kbps และมีความเร็ว 64 kbps สำหรับการใช้งานในโครงข่าย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

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

เลเยอร์โครงข่าย (Network layer) เป็นเลเยอร์หลักของระบบสัญญาณในระบบ DECT ทำหน้าที่การควบคุมการเรียก และการบริการสลับวงจรระหว่างชุมสาย

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบ DECT

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



PSTN (Public Switched Telephone Network) - โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

PH (Portable Handset) - เครื่องโทรศัพท์พกพา

REP (Radio Fixed Part) - สถานีวิทยุอยู่กับที่

CC (Cordless Controller หรือ Cluster Controller) - อุปกรณ์ควบคุมไร้สาย

CTA (Cordless Terminal Adapter) - อุปกรณ์ควบคุมไร้สาย

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบ DECT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างระบบ DECT จะประกอบด้วย เครื่องโทรศัพท์พกพา (PH : Portable Handset) ส่วนของอุปกรณ์อะแดปเตอร์ปลายทางไร้สาย (CTA : Cordless Terminal Adapter) เพื่อใช้สำหรับแท็บเล็ต หรือการสื่อสารด้วยภาพเคลื่อนที่ สถานีวิจัย หรือสถานีฐาน (RFP : Radio Fixed Part) คอนโทรลเลอร์แบบไร้สาย (CC : Cordless Controller หรือ Cluster Controllers) ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของระบบ และหน่วยอินเตอร์เฟสระหว่างโครงข่าย จะทำหน้าที่ในเชื่อมต่อสัญญาณของเครื่องโทรศัพท์ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องโทรศัพท์หลายๆ เครื่อง โดยใช้มาตรฐานการอินเตอร์เฟส CCITT G.732

2.3.3 ระบบ PACS

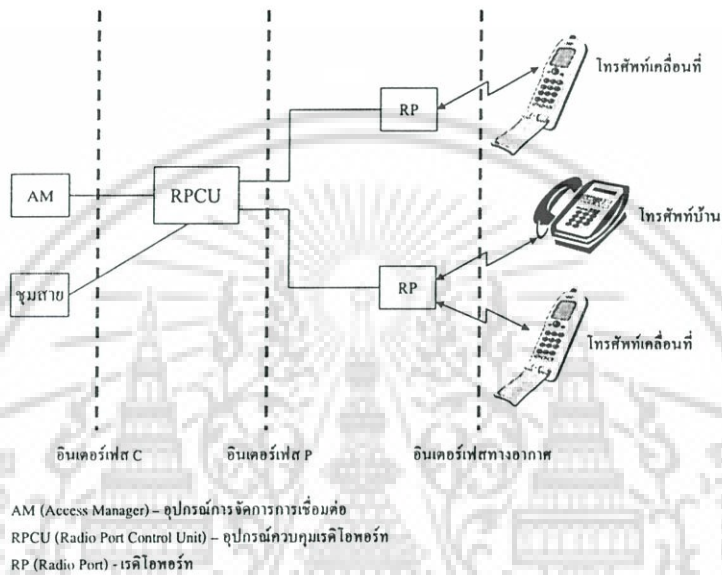
PACS เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลรุ่นที่สามที่พัฒนาขึ้นโดย เบลล์คอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี 1992 เพื่อให้สามารถใช้งานได้กว้างขวาง ทั้งในระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลและสาธารณะ โดยระบบ PACS จะสามารถให้บริการได้ทั้ง เสียง ข้อมูล และภาพเคลื่อนที่ สำหรับการใช้งานภายในอาคารและภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบ PACS

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ PACS จะใช้เทคโนโลยีของเซลล์ขนาดเล็ก หรือไมโครเซลล์ ซึ่งจะมีพื้นที่ครอบคลุมการบริการในรัศมี 500 เมตร และสามารถใช้งานร่วมกับชุมสายปลายทางส่วนบุคคลภายในอาคาร โดยใช้เทคนิคการทำงานแบบแบ่งความถี่ เมื่อมีการใช้งานภายนอกอาคารในลักษณะที่วางสถานีฐานเป็นโครงข่ายสาธารณะ และจะใช้เทคนิคการทำงานแบบแบ่งเวลา เมื่อใช้งานภายในอาคารหรือในลักษณะที่วางสถานีฐานเป็นโครงข่ายภายในอาคาร โดยทำงานร่วมกับชุมสายปลายทางส่วนบุคคลอัตโนมัติแบบไร้สาย (WPABX : Wireless Private Automatic Exchange)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของระบบ PACS

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของระบบ PACS ซึ่งประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ตัวเครื่องโทรศัพท์ของผู้ใช้บริการ (SU : Subscriber Unit) ซึ่งสามารถใช้งานในลักษณะของโทรศัพท์บ้าน หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่วนของเรดิโอพอร์ท (RP : Radio Port Control) หรือ ส่วนของสถานีฐาน ซึ่งจะเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมเรดิโอพอร์ท (RPCU : Radio Port Control) และส่วนสุดท้ายคือ อุปกรณ์การจัดการเชื่อมต่อ (AM : Access Manager) โดยส่วนของอินเทอร์เน็ต A ซึ่งเป็นอินเทอร์เน็ตทางอากาศ จะเป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างส่วนของตัวเครื่องโทรศัพท์กับส่วนของเรดิโอพอร์ท และอินเทอร์เน็ต P จะเป็นมาตรฐานโปรโตคอลที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างตัวเครื่องโทรศัพท์ผ่านเรดิโอพอร์ทไปยังส่วนของอุปกรณ์ควบคุมเรดิโอพอร์ท นอกจากนี้ อินเทอร์เน็ต P จะประกอบด้วยส่วนของช่องสัญญาณปฏิบัติการภายใน (EOC : Embedded Operations Channel) เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ควบคุมเรดิโอพอร์ทกับส่วนของเรดิโอพอร์ทเอง และส่วนของอินเทอร์เน็ต C เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างส่วนควบคุมเรดิโอพอร์ทกับชุมสายซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน JTC STD - 014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ระบบโทรศัพท์ที่พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

โทรศัพท์ที่พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่น โดยศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาาระบบคลื่นวิทยุ (R & D Center) และคณะกรรมการโทรคมนาคม (TCC : Telecommunications Technical Committee) โดยจะมีการติดตั้งสถานีฐานจำนวน 5.5 ล้านเครื่องในปี 1998 และติดตั้งเพิ่มเติมอีกจำนวน 39 ล้านเครื่องในปี 2010

หลักการของการให้บริการในระบบโทรศัพท์ที่พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส จะประกอบด้วย การให้บริการในส่วนของ การสื่อสารไร้สายหลายสื่อหรือมัลติมีเดีย การสื่อสารเคลื่อนที่ การสื่อสารแบบสองทิศทางอย่างสมบูรณ์แบบ และความสามารถในการเข้าถึงโครงข่าย

โทรศัพท์ที่พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส มีเครื่องลูกข่ายที่มีขนาดเล็ก บางบาง ใช้งานได้ทั้งภายในบ้าน อาคาร สำนักงาน หรือภายนอกอาคาร โดยในการใช้งานนั้น สามารถนำมาใช้งานร่วมกับระบบสื่อสารในโครงข่ายอื่น ๆ เช่น โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN : Public Switched Telephone Network) โครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิทัล (ISDN : Integrated Services Digital Network) สามารถให้บริการได้ทั้ง เสียง ข้อมูล ตัวอักษร โทรสาร และภาพ โครงข่ายของโทรศัพท์ที่พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส เป็นโครงข่ายระบบดิจิทัล ดังนั้น จึงมีความปลอดภัยในการใช้งานสูง

พัฒนาการอันนำมาสู่โครงข่ายโทรศัพท์ที่พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส นั้น มีวัตถุประสงค์สำคัญ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารให้เข้าสู่ระบบการสื่อสารส่วนบุคคล โดยทำการศึกษา และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น ระบบเซลลูลาร์ ระบบวิทยุติดตามตัว และระบบโทรศัพท์ไร้สาย

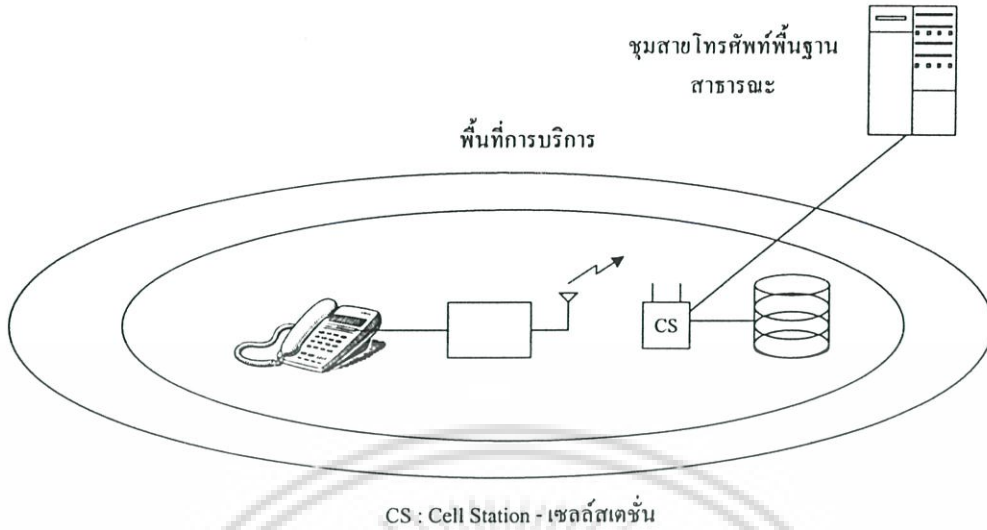
ดังนั้น โครงข่ายโทรศัพท์ที่พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ได้ทำการพัฒนาโครงข่าย เพื่อพัฒนาไปสู่การสื่อสารส่วนบุคคล โดยได้มีการนำเทคนิคต่าง ๆ มาใช้ในการพัฒนาระบบได้แก่ การใช้เทคโนโลยีของเซลล์ขนาดเล็ก (Micro cell structure) การใช้งานบนโครงข่ายเดิมที่มีอยู่ การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุระบบดิจิทัล การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิก และการเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบอะแดปทีฟดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โค้ดมอดูเลชัน (ADPCM : Adaptive Differential Pulse Code Modulation) ที่อัตรา 32 kbps

การให้บริการของโทรศัพท์ที่พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสจะประกอบไปด้วย

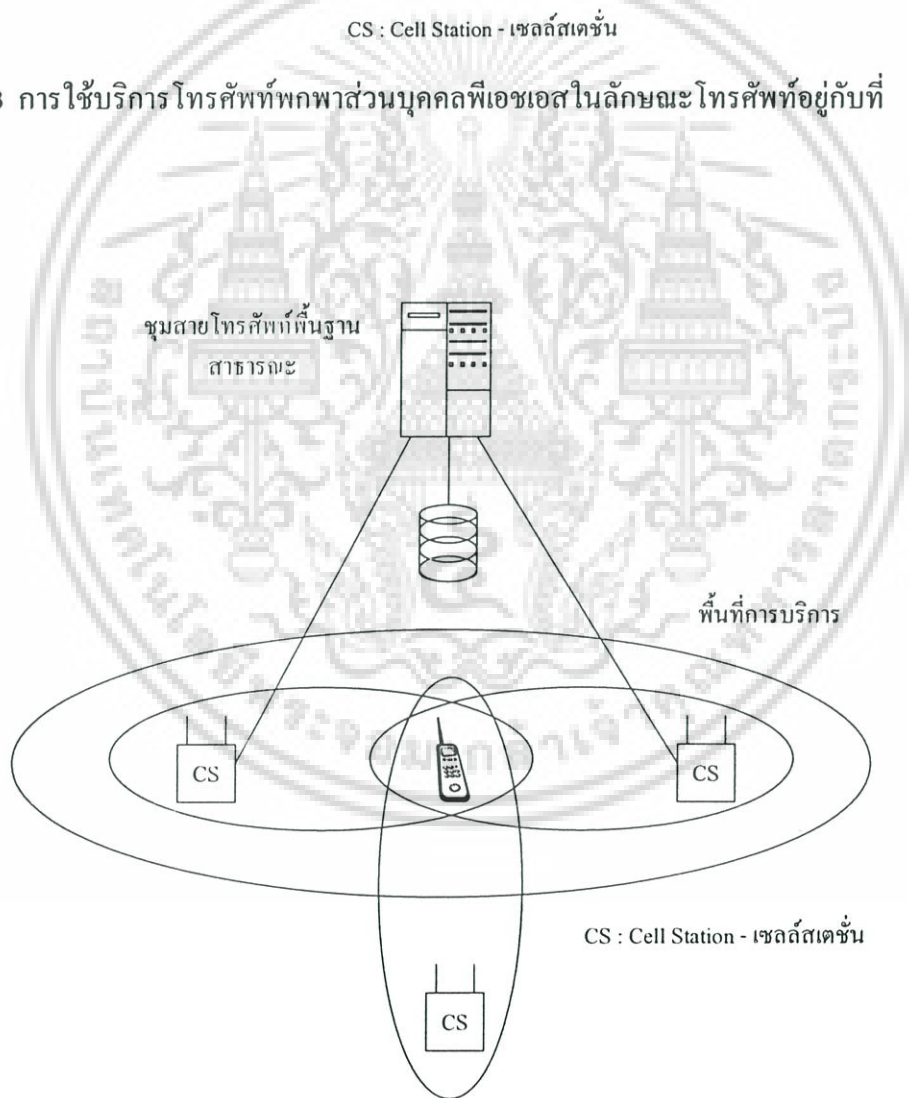
2.3.4.1 การให้บริการโทรศัพท์ที่พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสโดยทั่วไป

การให้บริการโทรศัพท์ที่พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสโดยทั่วไป เช่น ใช้เป็นโทรศัพท์อยู่กับที่ ซึ่งมีการติดต่อสื่อสารไปสู่โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ โดยการใช้สัญญาณคลื่นวิทยุแทนการใช้สายทองแดง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ใช้งานร่วมกับชุมสายปลายทางอัตโนมัติในลักษณะเครื่องลูกข่ายแบบไร้สาย ดังแสดงในรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะโทรศัพท์ที่อยู่กับที่

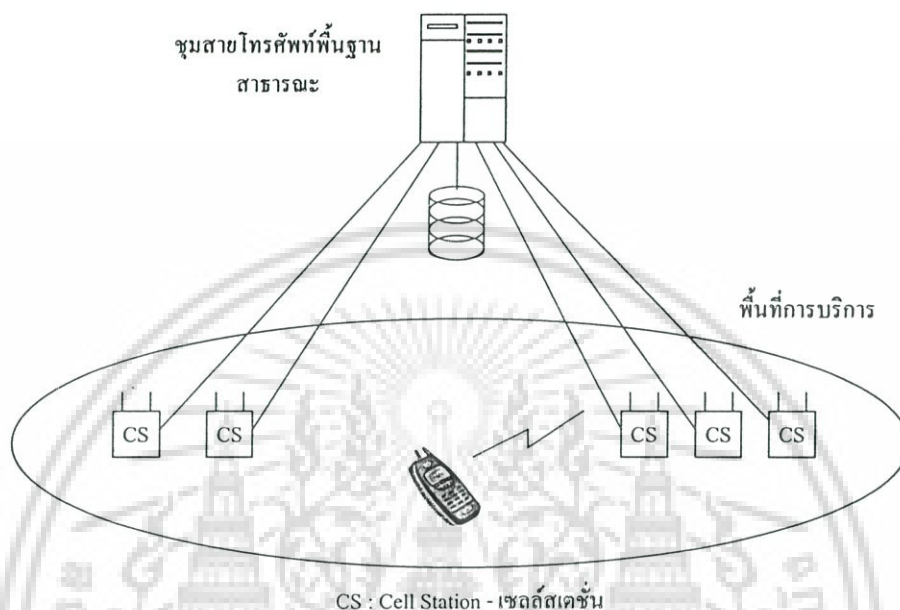


รูปที่ 2.4 การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลร่วมกับชุมสายปลายทางอัตโนมัติในลักษณะเครื่องลูกข่ายแบบไร้สาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.2 การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลที่เอชเอสในลักษณะการสื่อสารเคลื่อนที่

โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลที่เอชเอส สามารถใช้งานภายในบ้านในลักษณะโทรศัพท์ไร้สายร่วมกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ และการใช้งานภายนอกอาคารในลักษณะการสื่อสารเคลื่อนที่ โดยจะต้องอยู่ในบริเวณที่เป็นรัศมีครอบคลุมของเซลล์สเตชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



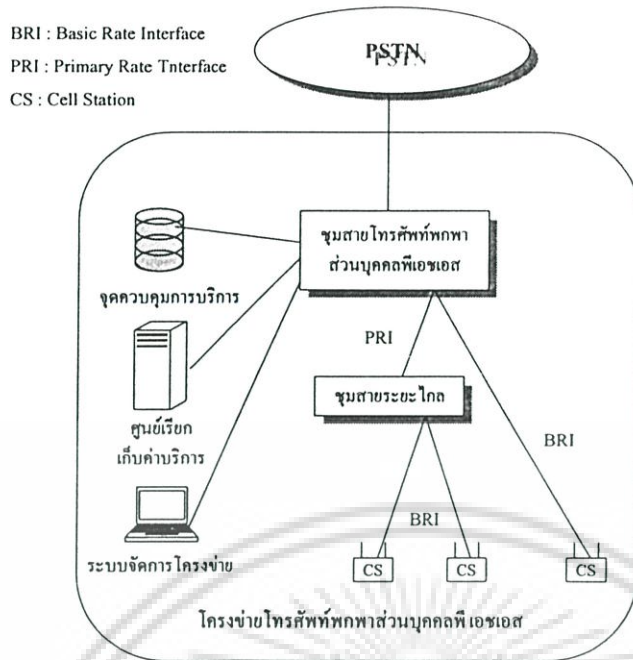
รูปที่ 2.5 การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลที่เอชเอสในลักษณะการสื่อสารเคลื่อนที่

ข้อดีของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลที่เอชเอส ก็คือ โครงข่ายของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลที่เอชเอสใช้เทคนิคของเซลล์ขนาดเล็กหรือไมโครเซลล์ ดังนั้นส่วนของเซลล์สเตชันและเครื่องลูกข่ายจึงมีขนาดเล็ก อีกประการหนึ่งโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์ดาร์เป็นโครงข่ายอิสระ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากโครงข่ายเดิมที่มีอยู่ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการสร้างโครงข่ายขึ้นมาใหม่ ส่วนโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลที่เอชเอสนั้น เป็นบริการเสริมในส่วนของโครงข่ายเดิมที่มีอยู่ เช่น โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN : Public Switched Telephone Network) หรือโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิทัล (ISDN : Integrated Services Digital Network) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายที่มีอยู่ รวมทั้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการสร้างโครงข่ายใหม่อีกประการหนึ่งด้วย

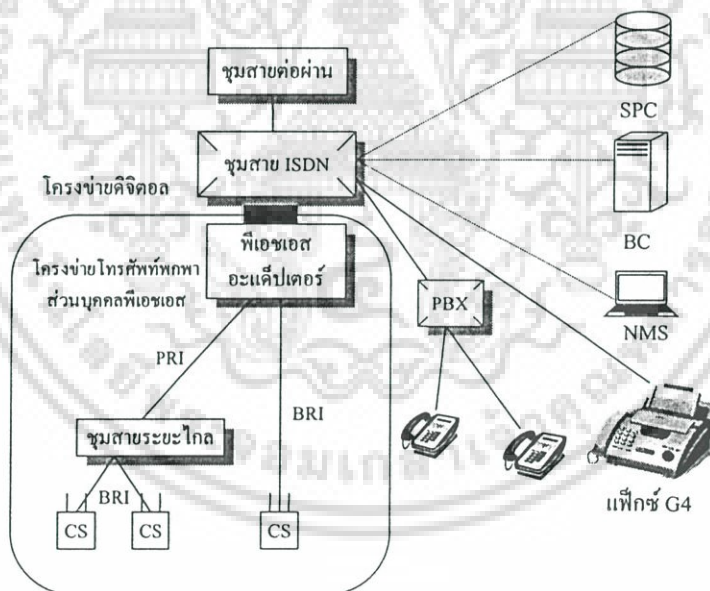
โครงข่ายของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลที่เอชเอส จะใช้วิธีการการวางโครงข่ายร่วมกับโครงข่ายของโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่มีอยู่เดิม ซึ่งจะมีการใช้งานสายส่งสัญญาณและชุมสายร่วมกับโครงข่ายเดิมให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการวางโครงข่ายน้อยที่สุด โดยสถาปัตยกรรมของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลที่เอชเอส จะแสดงดังรูปที่

2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมของ โครงข่ายโทรศัพท์ทบทหาส่วนบุคคลทีเอชเอส



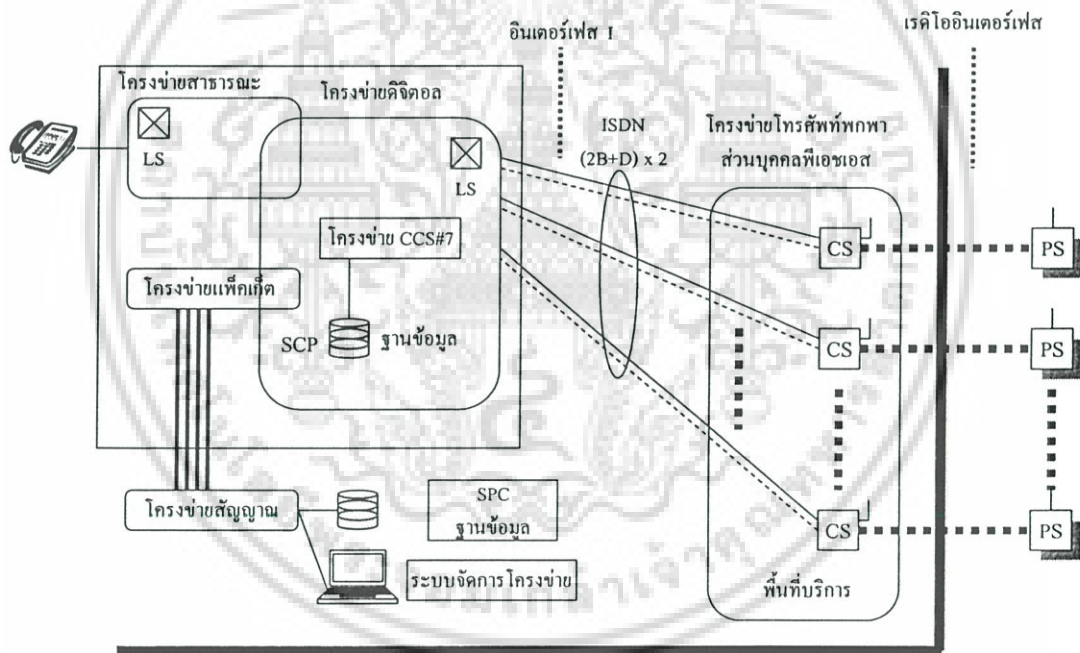
- SPC : Service Control Point - จุดควบคุมการบริการ
- BC : Billing Center – ศูนย์เรียกเก็บค่าบริการ
- NMS : Network Management System – ระบบจัดการ โครงข่าย
- PBX : Private Branch Exchange – ชุมสายปลายทางส่วนบุคคล
- BRI : Basic Rate Interface
- PRI : Primary Rate Interface

รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อระหว่าง โครงข่ายโทรศัพท์ทบทหาส่วนบุคคลทีเอชเอสกับ โครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.6 จะแสดงให้เห็นถึงการใช้โครงข่ายร่วมกันระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์ทศพาส่วนบุคคลพีเอชเอส และโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN : Public Switched Telephone Network) โดยส่วนประกอบของโครงข่ายโทรศัพท์ทศพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ที่เพิ่มเติมจากโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่มีอยู่เดิม จะประกอบไปด้วยจุดควบคุมการบริการ (SCP : Service Control Point) ศูนย์เรียกเก็บค่าบริการ (BC : Billing Center) และระบบการบำรุงรักษาโครงข่าย (NMS : Network Management System) ส่วนในรูปที่ 2.7 จะเป็นการใช้งานร่วมกับโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิทัล (ISDN : Integrated Services Digital Network) ผ่านอุปกรณ์อะแดปเตอร์ของโครงข่ายโทรศัพท์ทศพาส่วนบุคคลพีเอชเอส (PHS Adapter)

โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์ทศพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในประเทศญี่ปุ่น จะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท อันได้แก่ โครงข่ายสาธารณะ (Public Network Utilizing Type) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และโครงข่ายอิสระ (Independent Network Type) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



CS : Cell Station – เซลล์สเตชัน

PS : Personal Station – โทรศัพท์ทศพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

CCS#7 : Common Channel Signaling Number 7 – สัญญาณควบคุมร่วมหมายเลข 7

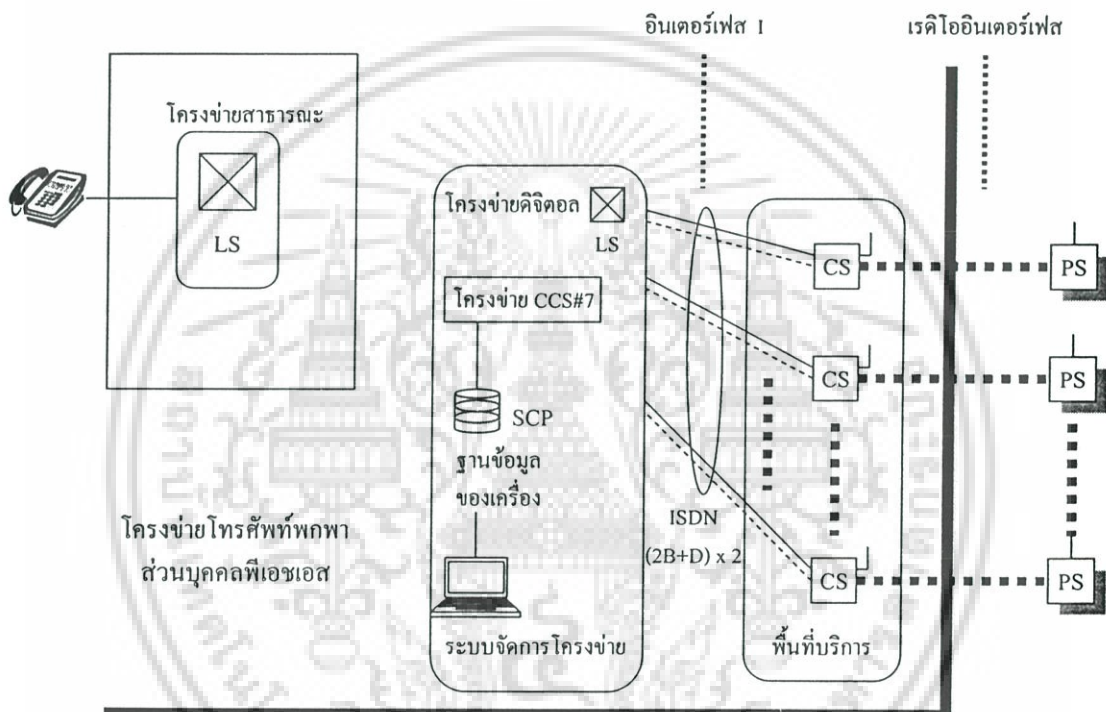
LS : Local Switch – ชุมสายท้องถิ่น

SCP : Signal Control Point - จุดควบคุมการบริการ

รูปที่ 2.8 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์ทศพาส่วนบุคคลพีเอชเอสสาธารณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสทั้งหมด ประกอบไปด้วยส่วนของเซลล์สเตชัน และโครงข่ายดิจิทัล โดยโครงข่ายดิจิทัลจะใช้เซลล์สเตชันของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ในการเชื่อมต่อภายในร่วมกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน ส่วนของโครงข่ายดิจิทัลจะประกอบไปด้วยระบบชุมสาย (Switching System) โครงข่ายของสัญญาณ (Signaling Network) โครงข่ายแพ็คเกจ (Packet Network) จุดควบคุมการบริการ (SCP : Service Control Point) ฟังก์ชันควบคุมการบริการ เช่น การระบุตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์ และตรวจสอบความเป็นเจ้าของที่แท้จริงของผู้ใช้บริการ และส่วนประกอบสุดท้ายของโครงข่ายดิจิทัล ก็คือ ระบบบำรุงรักษาโครงข่าย ซึ่งทำหน้าที่ในการจัดการบริหารโครงข่ายทั้งหมด



CS : Cell Station – เซลล์สเตชัน

PS : Personal Station – โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

CCS#7 : Common Channel Signaling Number 7 – สัญญาณควบคุมร่วมหมายเลข 7

LS : Local Switch – ชุมสายท้องถิ่น

SCP : Signal Control Point - จุดควบคุมการบริการ

รูปที่ 2.9 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสอิสระ

2.3.4.3 การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะ WLL

WLL (Wireless Local Loop) เป็นการบริการวงท้องถิ่น (Local Loop) แบบไร้สาย หรือจะเรียกว่า โครงข่ายการเข้าถึงผู้ใช้บริการ (Customer access network) ระหว่างผู้ใช้บริการและ

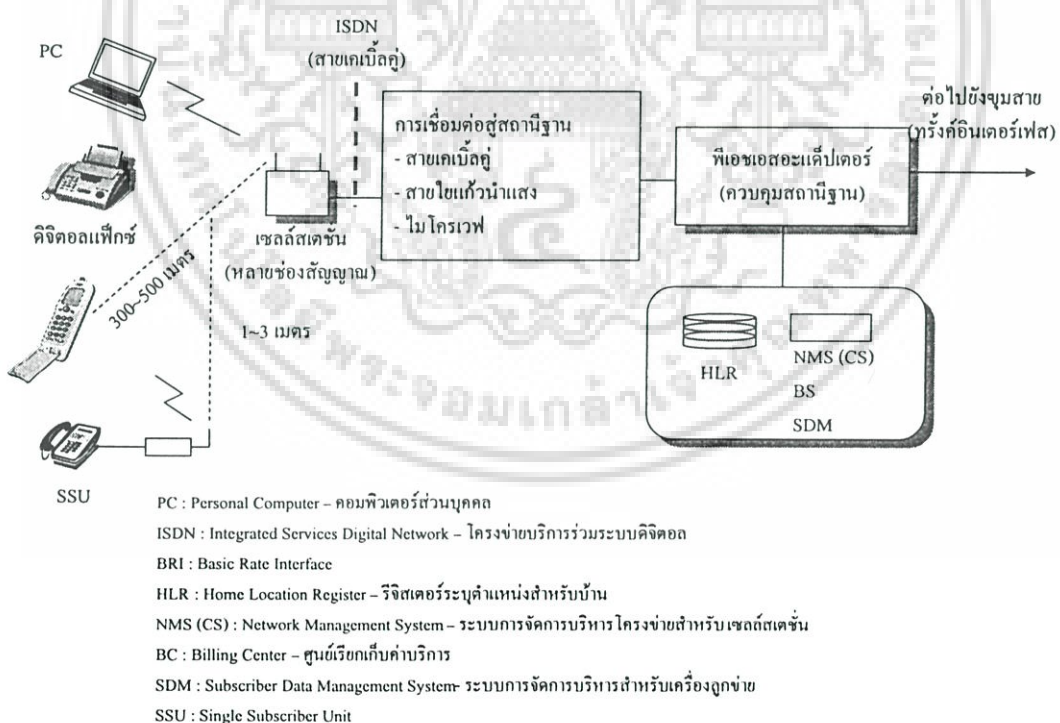
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุมสายท้องถิ่น โดยใช้คลื่นวิทยุในการติดต่อระหว่างผู้ใช้บริการและชุมสายท้องถิ่น โดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของการใช้สาย เช่น สายทองแดง สายเคเบิล หรือสายใยแก้วนำแสง

WLL มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในการติดต่อไปยังพื้นที่ที่ไม่สามารถต่อสายโทรศัพท์เข้าไปได้ โดยการไร้ระบบ WLL จะสามารถให้บริการได้รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูงกว่าการติดตั้งสายโทรศัพท์ นอกจากนี้อัตราค่าบริการยังถูกมาก เมื่อเทียบกับระบบโทรศัพท์แบบใช้สาย โดยการใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะ WLL ซึ่งจะปฏิบัติตามมาตรฐาน ARIB (Association of Radio and Industries and Businesses)

ในการใช้โครงข่ายพื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ในลักษณะของ WLL จะมีโครงสร้างพื้นฐานของระบบจะประกอบไปด้วย

- 1) ฐานข้อมูลในการระบุตำแหน่งสำหรับบ้าน (HLR : Home Location Register) ขนาดเล็ก
- 2) เซลล์สเตชันที่มีหลายช่องสัญญาณ (Multi channel)
- 3) ระบบการจัดการบริการ โครงข่ายสำหรับเซลล์สเตชันขนาดเล็ก
- 4) ศูนย์เรียกเก็บค่าบริการ
- 5) ระบบการจัดการข้อมูลสำหรับเครื่องโทรศัพท์



รูปที่ 2.10 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส สำหรับการใช้งานในลักษณะ WLL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในส่วนของระบบบำรุงรักษาโครงข่ายสำหรับเซลล์สเตชัน ศูนย์เรียกเก็บค่าบริการ และระบบการจัดการข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์ จะเป็นบริการเสริมสำหรับผู้ให้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ซึ่งโครงสร้างของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ที่มีการใช้งานในลักษณะ WLL จะแสดงในรูปแบบที่ 2.10

2.3.4.4 การประยุกต์ใช้งานภายในตัวอาคาร

โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส สามารถใช้งานร่วมกับชุมสายปลายทางอัตโนมัติในลักษณะของเครื่องลูกข่ายแบบไร้สายดิจิทัล ซึ่งระบบโดยรวมจะประกอบไปด้วย เซลล์สเตชันเครื่องลูกข่าย และชุมสายปลายทางอัตโนมัติ โดยจะเป็นไปตามมาตรฐานของ ARIB (Association of Radio and Industries and Businesses) ซึ่งเป็นมาตรฐานการอินเตอร์เฟสระหว่างเซลล์สเตชันและเครื่องลูกข่าย ในส่วนของชุมสายปลายทางอัตโนมัติจะมีการเพิ่มเติมในส่วนของฟังก์ชันการทำงานพิเศษ เพื่อสามารถใช้ติดต่อกับเครื่องลูกข่ายในลักษณะแบบไร้สายได้ ซึ่งข้อดีของการใช้โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสภายในอาคาร เช่น

- 1) ลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสายโทรศัพท์ภายในสำนักงาน
- 2) สามารถทำการติดต่อสื่อสารได้อย่างต่อเนื่องในทุกบริเวณภายในตัวอาคาร
- 3) สามารถใช้งานในลักษณะโทรศัพท์ไร้สาย ขณะที่มีการเคลื่อนที่ภายในตัวอาคาร
- 4) สามารถรองรับการบริการโครงข่ายและมีการเพิ่มเติมในส่วนของการให้บริการเสริม
- 5) สามารถติดต่อสื่อสารในระบบมัลติมีเดีย อันได้แก่ เสียง ข้อมูล ตัวอักษร หรือภาพ เป็นต้น

โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ในส่วนการเชื่อมต่อทางอากาศของเซลล์สเตชันจะใช้มาตรฐาน RCR STD – 28 ตามมาตรฐานของ ARIB (Association of Radio and Industries and Businesses) ตารางที่ 2.4 จะแสดงมาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

โครงข่ายของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส จะใช้มาตรฐาน JT – Q921 – b มาตรฐาน JT – Q931 – b และมาตรฐาน JT - Q932 - a โดยสัญญาที่เชื่อมโยงระหว่างสถานีฐานกับเซิร์ฟเวอร์ จะมีรูปแบบเป็นโครงข่ายการให้บริการร่วมระบบดิจิทัล (ISDN : Integrated Service Digital Network) สำหรับเทคนิคในการเข้ารหัสสัญญาณดิจิทัลจะใช้เทคนิคในระบบของการมอดูเลทพัลส์โค้ดแบบปรับตัวได้ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน G.711 และ G.726 ซึ่งมีสาระสำคัญเกี่ยวกับการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ในการทำงานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสจะมีช่องสัญญาณในการติดต่อ 4 ช่อง โดยใช้เทคนิคแบบ TDMA – TDD (TDMA : Time Division Multiple Access และ TDD : Time Division Duplex) จึงทำให้มีช่องสัญญาณรับและส่งอย่างละ 4 ช่อง แต่ในการทำงานจะใช้ช่องสัญญาณรับและส่ง 1 ช่องสำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นช่องสัญญาณควบคุม จะเห็นได้ว่าสถานีเซลล์ 1 ตัว จะสามารถติดต่อกับเครื่องลูกข่ายได้ 3 เครื่องในเวลาพร้อม ๆ กัน ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการให้บริการในระบบมัลติมีเดีย

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	1.9 GHz
เทคนิคการทำงาน	TDMA
เทคนิคการดูเพล็กซ์	TDD
จำนวนช่องสัญญาณ	4
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	300 kHz
ชนิดของมอดูเลท	$\pi/4$ - DQPSK
ความเร็วในการส่งข้อมูล	384 kbps
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM ที่อัตรา 32 kbps
การจัดสรรช่องสัญญาณ	ไดนามิก (Dynamic)
การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	CRC
กำลังส่งเฉลี่ยของสถานีฐาน	500 mW หรือต่ำกว่า
กำลังงานส่งเฉลี่ยของเครื่องโทรศัพท์	10 mW หรือต่ำกว่า

2.4 การเปรียบเทียบระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลดิจิทัล

ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลแบบต่าง ๆ คือ ระบบ PHS (Personal Handy phone System) ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone) ระบบ PACS (Personal Advance Cordless System) และระบบ CT-2 (Cordless Telephone version 2) โดยทั้ง 4 ระบบนั้น จะเห็นว่าคุณสมบัติแบ่งแยกออกเป็น 2 กลุ่ม คือสามแบบแรกจะเป็นแบบสื่อสาร 2 ทาง แต่แบบที่ 4 จะเป็นการสื่อสารทางเดียวจึงไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร และในอนาคตก็คงหมดความนิยมไปในที่สุด ในสามแบบแรกก็ยังมีส่วนที่แตกต่างกันบ้าง เช่น ในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส และระบบ DECT จะมีวิธีการจัดสรรแถบความถี่แบบไดนามิก (Dynamic assign) ซึ่งเป็นการจัดความถี่โดยอัตโนมัติ กล่าวคือ เมื่อมีการติดตั้งเซลล์ใหม่ ผู้ติดตั้งไม่จำเป็นต้องทราบความถี่ที่มีในเซลล์เดิม แต่เพียงวางเซลล์ใหม่ลงไปที่นั่น เซลล์ใหม่นี้จะตรวจสอบรอบ ๆ ว่ามีการใช้ความถี่ใดไปบ้าง แล้วเลือกความถี่ที่ยังไม่มีการใช้งานมาใช้กับเซลล์ตนเอง วิธีการนี้ทำให้ไม่ต้องกังวลในเรื่องของการใช้ความถี่ใหม่ เช่น ระบบเซลล์ลูลาร์ เป็นต้น ส่วนในระบบ PACS จะเป็นระบบที่มีลักษณะคล้ายกับระบบเซลล์ลูลาร์ คือ มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดสรรความถี่แบบตายตัว ผู้วางโครงข่ายจำเป็นต้องบริหารความถี่ไม่ให้มีการรบกวนเกิดขึ้น

ส่วนเทคนิคการเลือกช่องสัญญาณก็จะแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ แบบที่ 1 ระบบโทรศัพท์ทศพาสส่วนบุคคลพีเอชเอชและระบบ DECT จะใช้เทคนิคที่เรียกว่า TDMA – TDD (Time Division Multiple Access – Time Division Duplex) เทคนิคของ TDMA – TDD นี้ช่องการสื่อสารจะใช้ความถี่เดียวทั้งรับและส่ง แต่จะแยกสัญญาณรับและส่งออกกันด้วยช่วงเวลา ดังนั้นในระบบนี้จึงประหยัดช่องความถี่มากกว่าระบบอื่น ๆ ส่วนอีกแบบหนึ่ง คือ การจัดช่องความถี่ในแบบ TDMA ที่ใช้ในระบบ PACS ที่จะใช้การจับช่องสัญญาณในแบบช่องความถี่ 2 ช่องพร้อมกัน สำหรับช่องความถี่ด้านรับและความถี่ด้านส่ง ในระบบนี้จึงจำเป็นต้องใช้แถบความถี่ 2 แถบ คือ แถบทางด้านส่ง เช่นเดียวกับเซลล์ลาร์ทั่ว ๆ ไป การใช้ความถี่ในระบบนี้จึงมีประสิทธิภาพดีออกกว่าในระบบแรก

ในเรื่องของกำลังส่งในระบบการสื่อสารส่วนบุคคลนั้น จะกำหนดให้มีกำลังส่งต่ำมาก โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 5 ถึง 10 มิลลิวัตต์เท่านั้น ดังนั้นรัศมีทำการในระบบสื่อสารส่วนบุคคลจะประมาณ 500 เมตร ซึ่งการกำหนดคุณสมบัติเหล่านี้จะปลอดภัยต่อผู้ที่ใช้งาน และเครื่องให้บริการนั้นจะสามารถพัฒนาให้มีขนาดเล็กและราคาถูกลงได้ แม้การครอบคลุมพื้นที่ซึ่งมีปัญหาในบางพื้นที่ที่ไม่สามารถครอบคลุมได้เช่นเดียวกับระบบเซลล์ลาร์ แต่ก็สามารถแก้ไขจุดบอดเหล่านั้นโดยวิธีการวางเซลล์เพิ่มเติมเข้าไปอีก

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

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล

Parameters	PHS	DECT	PACS	CT-2
ประเทศเจ้าของเทคโนโลยี	ญี่ปุ่น	ยุโรป	อเมริกา	อเมริกา
ย่านความถี่	1,895~1,918 MHz	1,880~1,900 MHz	1,850~1,910 MHz (Up) 1,930~1,990MHz (Down)	864.05~868.05 MHz
ความกว้างของแถบความถี่ที่ใช้งาน	23 MHz	20 MHz	120 MHz	4 MHz
ประสิทธิภาพในการใช้ความถี่	สูง	สูง	ต่ำ	สูง
จำนวนการมัลติเพล็กซ์	4 ch/CS (77 Carriers) *สำหรับความหนาแน่นประชากร โลด (ต่ำถึงสูงสุด)	12 ch/CS (10 Carriers) *สำหรับความหนาแน่นประชากร สูง	5 ch/CS (200 Carriers) *สำหรับความหนาแน่นประชากร ค่อนข้างสูง	1 ch, 100 kHz (40 Carriers)
ลักษณะการทำงาน	TDMA/TDD	TDMA/TDD	TDMA/FDD	TDMA/TDD
การเข้ารหัสและการถอดรหัสที่อนุญาต	32 kbps ADPCM	32 kbps ADPCM	32 kbps ADPCM	32 kbps ADPCM
เทคนิคการผสมสัญญาณ	$\pi/4$ QPSK	GMSK/GFSK	$\pi/4$ QPSK	GMSK/GFSK
สมรรถนะการใช้ความถี่	300 kHz, 4 ch (75 kHz/ch)	1,728 kHz, 12 ch (144 kHz/ch)	300 kHz X 2, 8 ch (75 kHz/ch)	100 kHz, 1 ch (100 kHz/ch)
ความเร็วในการส่งข้อมูล	384 kbps	1,152 kbps	384 kbps	72 kbps
กำลังงานเอาต์พุตของ CS	500 mW Ave. (4 W) 200 mW Ave. (160 mW) 100 mW Ave. (80 mW)	10 mW Ave. (250 mW)	100 mW Ave. (800 mW)	5 mW Ave. (10 mW)
กำลังงานเอาต์พุตของ PS	10 mW Ave. (80 mW)	10 mW Ave. (250 mW)	25 mW Ave. (200 mW)	5 mW Ave. (10 mW)
เฟรม TDMA	5 ms	10 ms	2.5 ms	2 ms
การจัดช่องสัญญาณ	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)	แบบ Fixed or QSAFA (แบบกึ่งคงตัวหรือกึ่งอัตโนมัติ)	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)
รัศมีคลื่นวิทยุ	100 ~ 500 เมตร	50 ~ 150 เมตร	300 ~ 500 เมตร	50 ~ 150 เมตร
การเคลื่อนที่	ความเร็วของรถยนต์ในอานจรก	ความเร็วในการเดิน	ความเร็วของรถยนต์ในอานจรก	ผู้คนที่
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 - ไซปรัส ในปี 1993 - โตเกียว และฮ่องกงในปี 1994	1996/? ทดลองใช้ที่ - สวิตเซอร์แลนด์ ในปี 1994	1997/? ยังไม่มีการทดลองจริง (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, Hitachi (5 ผู้ผลิต)	Motorola ?
การประเมินผล	1. ระบบมีความสมดุล (เหมาะสำหรับใช้ในที่สาธารณะในออฟฟิศ หรือใช้ที่บ้าน) 2. สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ดีมาก 3. ใช้การกำหนดช่องสัญญาณแบบ Dynamic (เก็บความถี่แบบอัตโนมัติ)	1. ส่วนใหญ่ใช้ในออฟฟิศ (เหมาะสำหรับชุมสายอัตโนมัติที่มีการใช้งานมาก) 2. การจัดสรรคลื่นวิทยุทำให้ค่า Delay spread มีมาก	1. มีข้อจำกัดในการขยายช่องสัญญาณวิทยุ (FDD) 2. การจัดช่องสัญญาณถูกกำหนดตามสถานีฐาน (ใช้การกำหนดช่องสัญญาณแบบกึ่งอัตโนมัติ)	1. ไม่สะดวกในการใช้งานได้เพราะโทรออกได้ทางเดียว 2. ย่านความถี่นี้ขยายอีกไม่ได้ เพราะใกล้กับระบบขงตู้โทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายที่ บริษัท ทศท. คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) และ บริษัท โทร คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) (TRUE) ได้ทำการพัฒนาจากระบบ PHS ของประเทศญี่ปุ่น ได้เริ่มให้บริการเชิงพาณิชย์ในประเทศไทยในปี 2540 [2] ในลักษณะบริการเสริมของโทรศัพท์พื้นฐานแบบไร้สายให้สามารถใช้งานโทรศัพท์ไร้สายได้ทุกที่ทุกเวลาที่เรียกว่า “การสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล” ไม่ว่าจะใช้งานที่บ้าน หรือ พื้นที่สาธารณะ การใช้บริการผู้เรียกสามารถเลือกติดต่อได้ทั้งเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานและเครื่องโทรศัพท์พีซีที ทำให้ไม่พลาดการติดต่อ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานโทรศัพท์ให้สูงขึ้น

2.5.1 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

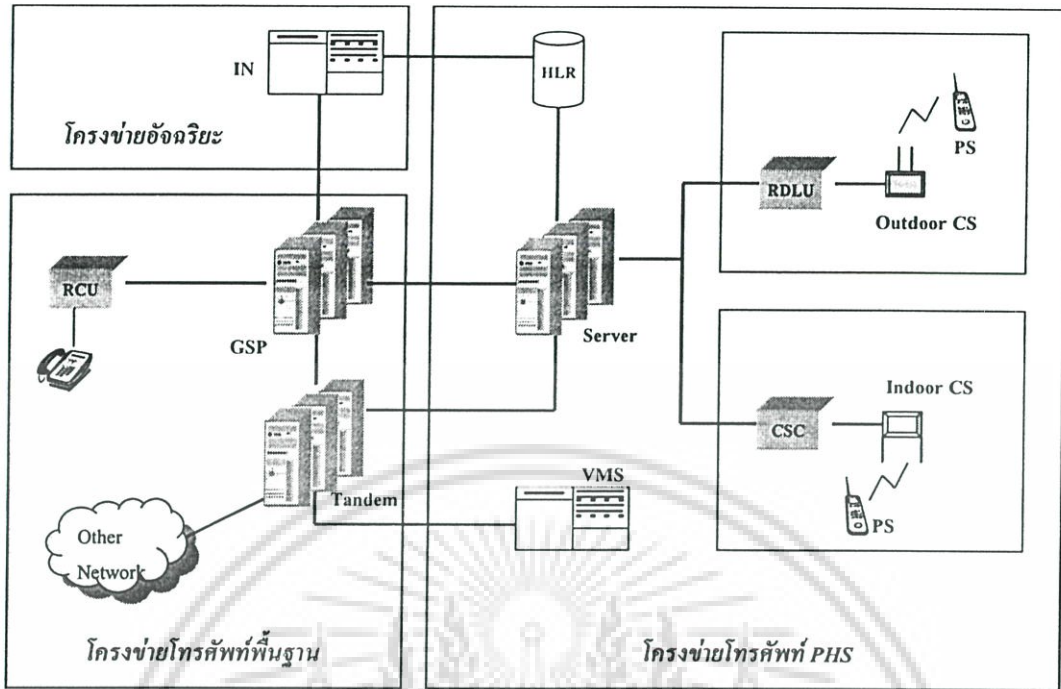
โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะเป็นการทำงานร่วมกันของ 3 โครงข่ายดังแสดงในรูป 2.11 ประกอบด้วย โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN) ซึ่งเป็นโครงข่ายพื้นฐานที่มีอยู่เดิม โครงข่ายอัจฉริยะ (Intelligent Network) ที่นำมาใช้จะให้บริการเสริมในรูปแบบของบริการหมายเลขเดียว (One number service) ทำให้เลขหมายของเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเป็นเลขหมายเดียวกับเครื่องโทรศัพท์พื้นฐาน และโครงข่ายโทรศัพท์ PHS จะเป็นส่วนให้บริการในรูปแบบการสื่อสารไร้สาย ที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณเทอร์สโวลที่ใช้ในการข้ามเซลล์ให้มีขนาดลดลง ทำให้ขนาดของการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์กว้างขึ้น

2.5.1.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

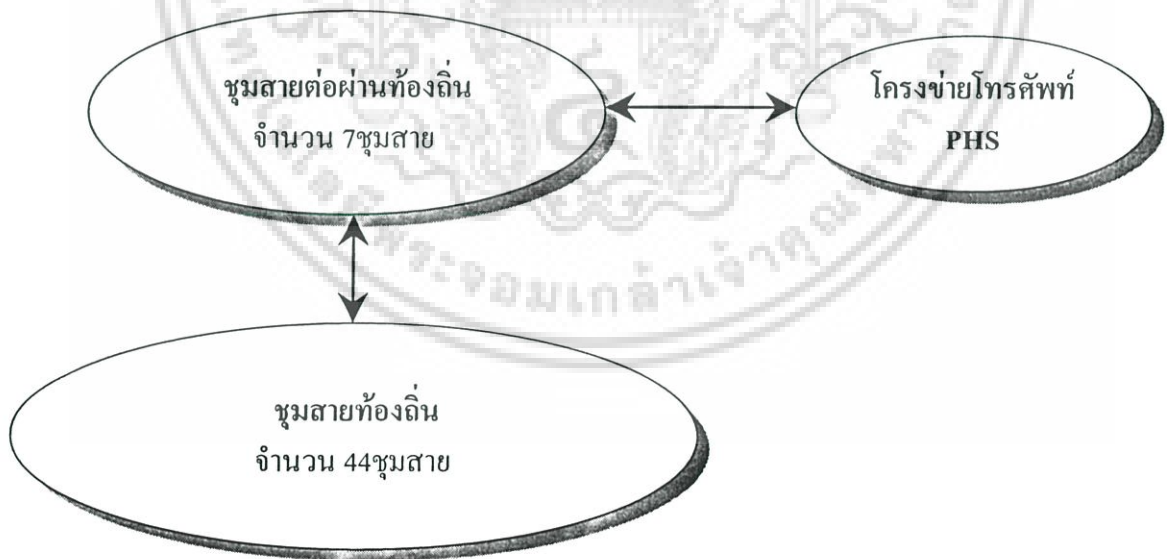
เป็นการใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานเดิมของ บริษัท โทร คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) (TRUE) และ บริษัท ทศท. คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ที่มีการให้บริการอยู่แล้ว ดังแสดงในรูป 2.12 ประกอบไปด้วยชุมสายโทรศัพท์ 2 ระดับ คือ

1) ชุมสายท้องถิ่น (Local Exchange) ประกอบด้วยกลุ่มของชุมสายปฏิบัติการ (GSP : Group Switching Processor) ทั้งหมด 44 ชุมสาย

2) ชุมสายต่อผ่านท้องถิ่น (Transit Exchange หรือ Tandem Exchange) จะเชื่อมต่อกับชุมสายต่อผ่านท้องถิ่นทั้งหมดแบบเมชในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ชุมสายผ่านท้องถิ่นจะต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์ PHS ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

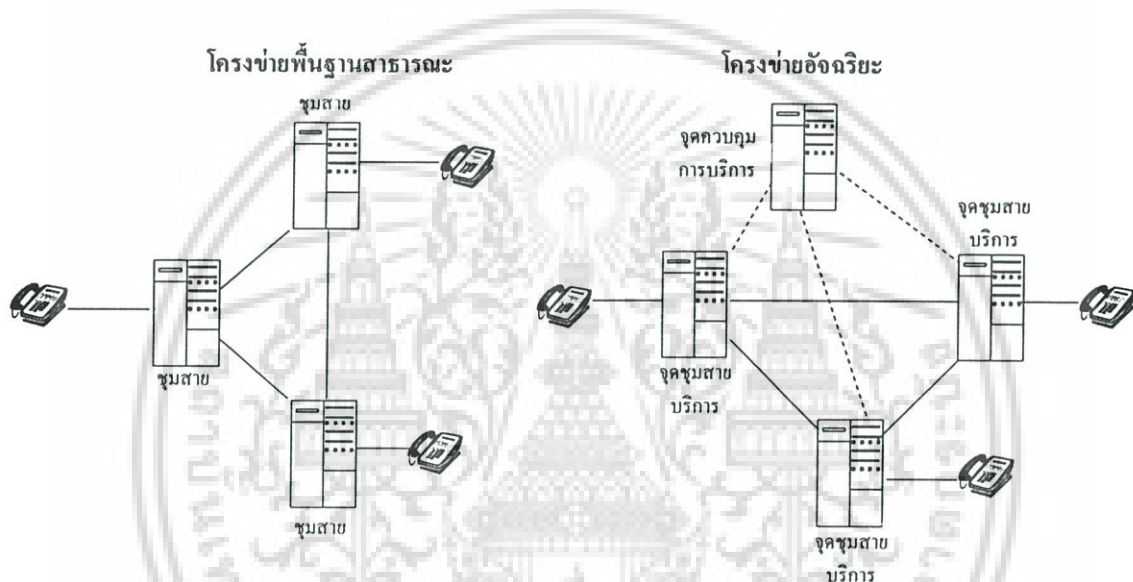


รูปที่ 2.12 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.2 โครงข่ายอัจฉริยะ

เป็นส่วนที่เพิ่มความสามารถของโครงข่ายในด้านต่าง ๆ เช่น การให้บริการรูปแบบใหม่ หรือการให้บริการเสริมกับโครงข่าย กระทำโดยการนำระบบคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์มาช่วยจัดการโครงข่ายและทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการเสริม โดยเป็นการแยกฟังก์ชันในการควบคุมการเรียก (Call control function) ออกจากฟังก์ชันของการให้บริการ (Service control function) ส่งผลให้ผู้ให้บริการโครงข่ายสามารถที่จะพัฒนาโครงข่ายที่มีบริการได้อย่างรวดเร็ว

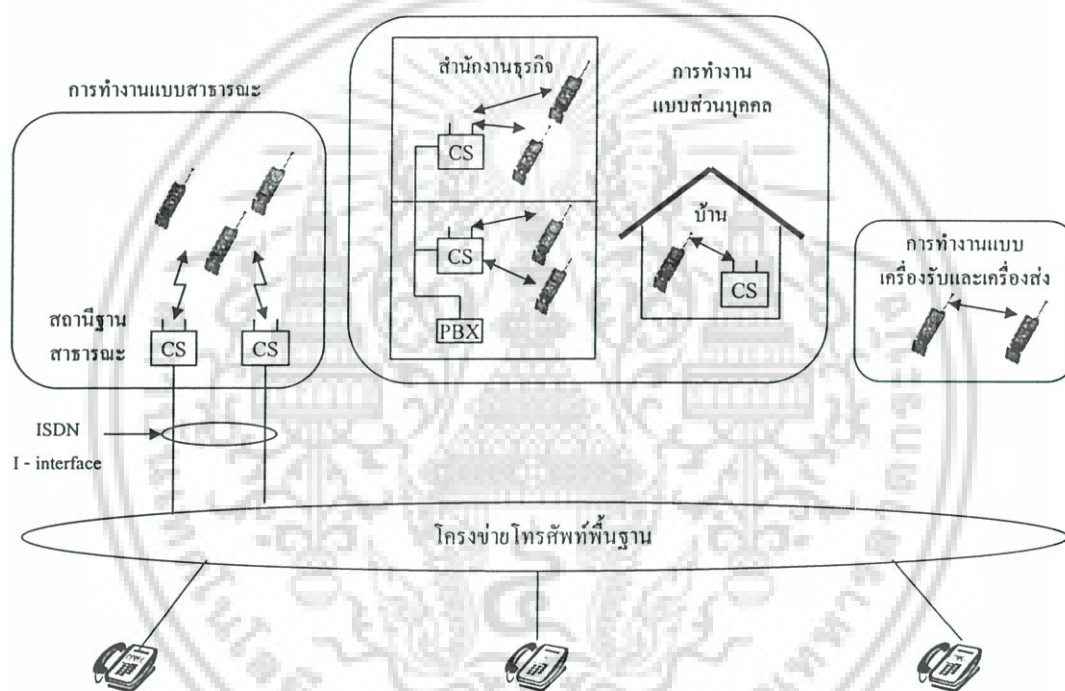


รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะธรรมดา กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่ทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะ

โดยโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่มีการทำงานและไม่มีการทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะแสดงดังรูปที่ 2.13 ถ้าผู้เรียกต้องการใช้บริการของโครงข่ายอัจฉริยะ จุดชุมสายบริการก็จะส่งเลขหมายไปที่จุดควบคุมการบริการ ซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ของโครงข่ายอัจฉริยะที่แยกออกต่างหากจากระบบชุมสาย โดยจุดควบคุมการบริการจะทำหน้าที่เลือกเส้นทางและหาตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์ จากนั้นจะสั่งให้อุปกรณ์ชุมสายทำการสร้างเส้นทางในการเรียกไปยังปลายทางที่ต้องการต่อไป

2.5.1.3 โครงข่ายโทรศัพท์ PHS

เป็นโครงข่ายระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลที่สามารถใช้ได้ทั้งที่บ้าน ที่ทำงานเขตพื้นที่ชุมชน ย่านธุรกิจ และพื้นที่สาธารณะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.14 ในระบบโทรศัพท์ PHS สถานีฐานจะเรียกว่า สถานีเซลล์ หรือเซลล์สเตชัน (CS : Cell Station) [11] และสถานีเคลื่อนที่ (PHS Personal Station) จะเรียกว่า เครื่องโทรศัพท์ PHS โดยเซลล์จะมีขนาดเล็กในระดับมินิเซลล์ มีรัศมีการให้บริการเพียง 100 – 300 เมตรเท่านั้น โดยทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มความจุของระบบ และเป็นการประหยัดพลังงานเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่เครื่องโทรศัพท์ PHS ทั้งยังเป็นการลดราคาของสถานีเซลล์ลง

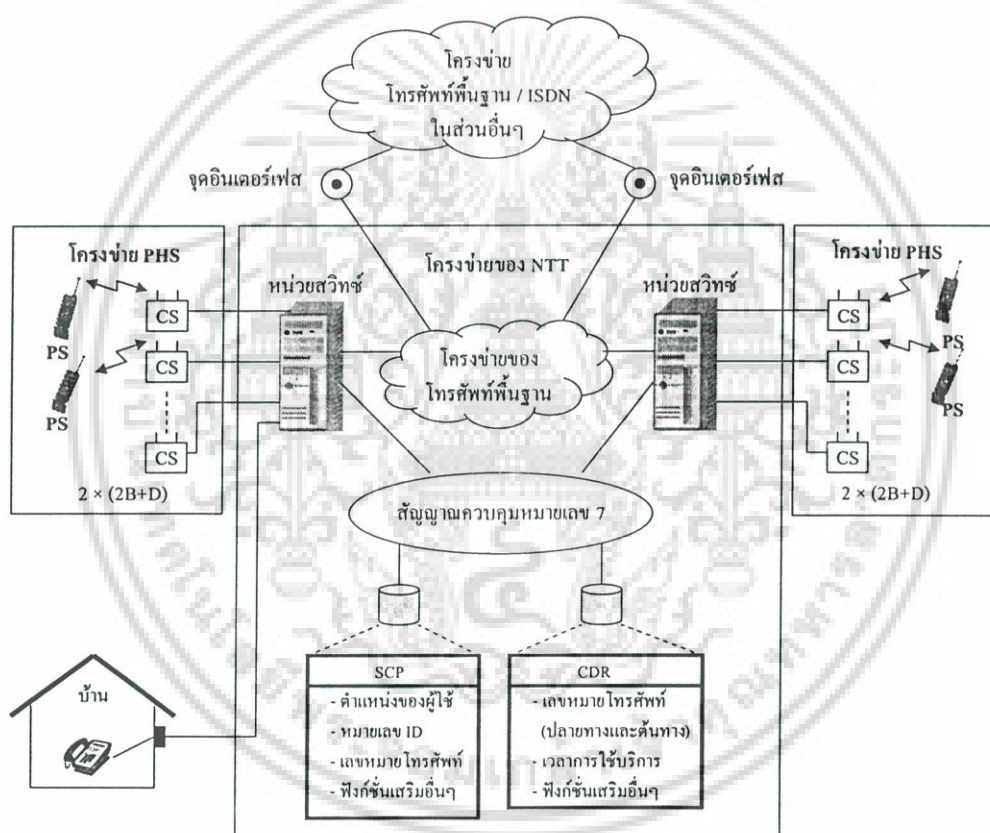


รูปที่ 2.14 ลักษณะการบริการของโทรศัพท์ PHS

จากรูปที่ 2.14 ลักษณะการทำงานของระบบโทรศัพท์ PHS จะมีการใช้งานแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ลักษณะแรกเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัลที่สามารถใช้งานแบบโทรศัพท์ไร้สายได้ทั้งที่บ้านและที่ทำงาน ซึ่งการใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่า การใช้งานในโหมดส่วนตัว (Private Mode) เครื่องโทรศัพท์ PHS จะทำงานติดต่อกับ Home Base Unit แบบโทรศัพท์ไร้สายชนิด (Cordless Telephone) หรือใช้งานลักษณะ Wireless PABX ร่วมกับชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติในสำนักงานที่เชื่อมต่ออยู่กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ เมื่อมีการใช้งานเครื่องโทรศัพท์ PHS ภายนอกบ้าน หรือนอกสำนักงาน เครื่องโทรศัพท์ PHS ก็จะทำการติดต่อสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับสถานีเซลล์ที่ติดตั้งในพื้นที่สาธารณะ การใช้งานในลักษณะที่สองเรียกว่าแบบโหมดสาธารณะ (Public Mode) โดยเมื่อผู้ใช้บริการต้องใช้งานในโหมดสาธารณะ ก็จะทำให้การกดหมายเลขไปยังเครื่องโทรศัพท์ PHS ซึ่งในแต่ละเครื่องจะประกอบไปด้วยหมายเลขของผู้ใช้บริการจำนวน 10 หมายเลข โดยในแต่ละสถานีเซลล์จะมีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์ ISDN (Integrated Services Digital Network) [12] นอกจากนี้เครื่องโทรศัพท์ PHS ยังสามารถทำการติดต่อสื่อสารโดยตรงระหว่างเครื่องโทรศัพท์ PHS ด้วยกันได้ การใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่าแบบโหมดรับ-ส่ง (Tranceiver Mode) สำหรับการใช้งานในโหมดนี้จะสามารถใช้งานได้ก็ต่อเมื่อเครื่องโทรศัพท์ PHS อยู่บริเวณใกล้ ๆ กันในลักษณะอินเตอร์คอม สำหรับการเลือกใช้งานในแต่ละหมวดนั้นผู้ใช้บริการสามารถเลือกใช้งานได้



รูปที่ 2.15 โครงข่ายระบบโทรศัพท์ PHS

1) โครงสร้างโครงข่ายโทรศัพท์ PHS

เป็นโครงข่ายที่มีการใช้งานร่วมกับระบบโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 โดยให้ผู้บริการโครงข่าย จะจัดการเชื่อมต่อระหว่างสถานีเซลล์กับสถานีเครื่องโทรศัพท์ PHS และจัดการฐานข้อมูลของผู้ใช้บริการ สำหรับเซลล์ในพื้นที่ต่าง ๆ จะถูกเชื่อมต่อกับชุมสายท้องถิ่น โดยมีการเชื่อมต่อแบบ I-interface [13] ตามมาตรฐานของโครงข่าย ISDN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของช่องสัญญาณทางฟิสิกคอลจะทำการส่งข้อมูลโดยใช้ช่องสัญญาณ B ในแต่ละสถานีเซลล์จะสามารถรองรับได้ 4 ช่องสัญญาณ ใช้คู่สาย ISDN ที่มีการเชื่อมต่อแบบ BRI (Basic rate Interface) 2 คู่สายเชื่อมต่อสถานีเซลล์กับชุมสายท้องถิ่น สำหรับข้อมูลต่าง ๆ ของผู้ใช้บริการ เช่น การดูแลการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของผู้ใช้บริการ โดยหมายเลขของผู้ใช้บริการจะถูกเก็บไว้ในส่วนควบคุมการให้บริการ (SCP : Service Control Point) และการบันทึกข้อมูลการเรียกของผู้ใช้บริการ (CDR : Call Detail Record) ข้อมูลหมายเลขโทรศัพท์ที่ทำการเรียก [10,14] หมายเลขโทรศัพท์ที่ถูกเรียก และเวลาในการสนทนา จะใช้การเชื่อมต่อแบบ SS7 (Signaling System No.7) [15]

2) การใช้งานแถบความถี่ในระบบโทรศัพท์ PHS

ช่องสัญญาณจะแบ่งออกเป็น 77 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณกว้างช่องละ 300 kHz โดยจะใช้งานในช่วงความถี่ 1895.15 – 1917.95 MHz (ความกว้างของความถี่ 22.8 MHz) สำหรับรายละเอียดความถี่และลักษณะการใช้งานในแต่ละช่องสัญญาณแสดงดังตารางที่ 2.6 [16]

2.5.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

2.5.2.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อ

การเชื่อมโยงระหว่างสถานีเซลล์กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (Network Interface) จะใช้มาตรฐาน JT – Q921, JT – Q931 – b, JT – Q1218 – a, JT – Q932 – a, JT – 1460, JT – 1430 และ JT – 1961 [13] ของ TTC (Telecommunications Technology Committee) และสำหรับมาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศ (Air Interface) จะใช้มาตรฐาน RCR STD 28 V.3.2 ของ ARIB (The Association of Ratio Industries and Businesses) [16] ซึ่งตามข้อกำหนด โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.16 สัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่างสถานีเซลล์ (CS) กับเซิร์ฟเวอร์ จะมีอัตราเร็ว 32 kbps มีการเข้ารหัสแบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulator) [17] ส่วนสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่าง PCT Switch จะใช้อัตราเร็ว 384 kbps

2.5.2.2 ความถี่ใช้งาน

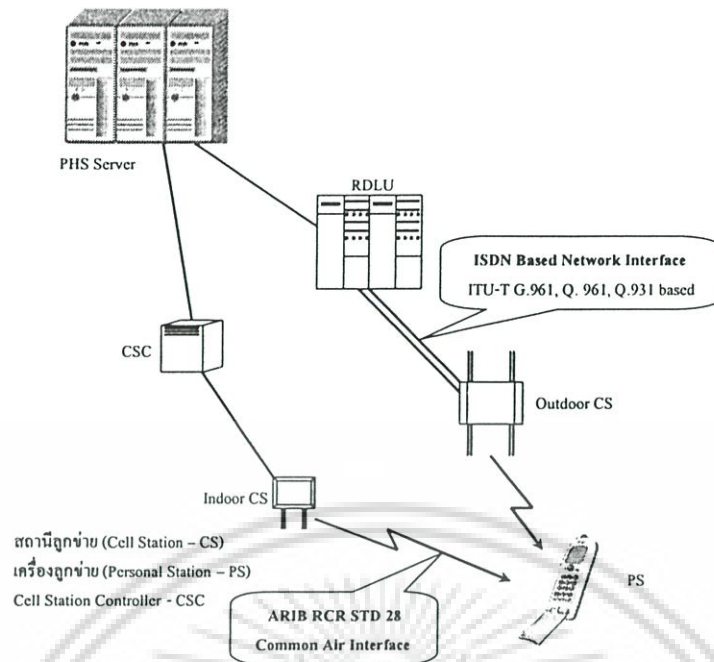
ความถี่ที่ใช้สำหรับโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะเหมือนกับระบบโทรศัพท์ PHS ดังแสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งจะแบ่งความถี่ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล ได้แก่ การใช้งานลักษณะอินเตอร์คอมในโหมครับ – ส่ง เป็นการสื่อสารระหว่างเครื่องโทรศัพท์พีซีทีด้วยกัน โดยไม่มีสถานีเซลล์เข้ามาเกี่ยวข้อง จะใช้ความถี่ช่องที่ 1-10 สำหรับการใช้งานส่วนบุคคลภายในสำนักงานหรือที่อยู่อาศัยต่าง ๆ ในรูปแบบของ Wireless PABX จะใช้งานความถี่ช่องที่ 11 – 37 โดยมีช่องสัญญาณในช่องที่ 12, 18 เป็นช่องสัญญาณควบคุม และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นความถี่ที่ใช้สำหรับติดต่อสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ ซึ่งจะใช้ความถี่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องที่ 38 – 69 โดยมีช่องสัญญาณในช่องที่ 70 – 77 เป็นช่องสัญญาณควบคุมโดย โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีทีใช้ในประเทศไทย จะใช้สัญญาณควบคุมช่องที่ 75

ตารางที่ 2.6 การใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์ PHS

ช่องสัญญาณที่	ความถี่ (MHz)	ลักษณะการใช้งาน
1	1895.150	ใช้งานในลักษณะเป็นเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ (Transceiver mode : PS PS) และใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
-	-	
10	1897.850	
11	1898.150	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
12	1898.450	เป็นช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล
13	1898.750	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
-	-	
17	1899.950	
18	1900.550	เป็นช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล
19	1900.550	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
-	-	
37	1905.950	
38	1906.250	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ (Public mode : สามารถใช้งานกับสถานีฐานที่ใช้พลังงานสูงและพลังงานต่ำ)
-	-	
53	1910.750	
54	1911.050	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ (Public mode : สามารถใช้งานกับสถานีฐานที่ใช้พลังงานต่ำเท่านั้น)
-	-	
69	1915.550	
70	1945.850	Guard Channel
71	1946.150	เป็นช่องสัญญาณควบคุม (สำรอง)
72	1946.450	Guard Channel
73	1946.750	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 1
74	1917.050	Guard Channel
75	1917.350	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 2
76	1917.650	Guard Channel
77	1917.950	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 3

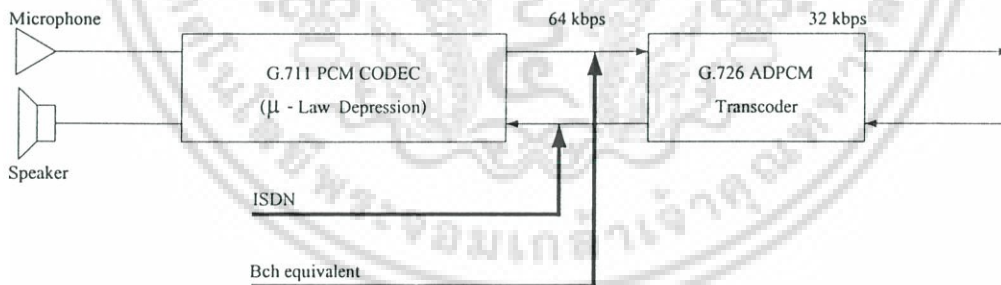
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การเชื่อมต่อระหว่าง PS กับ CS และ CS กับ PHS Server

2.5.2.3 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงและการมอดิเฟอ์็กซ์ช่องสัญญาณ

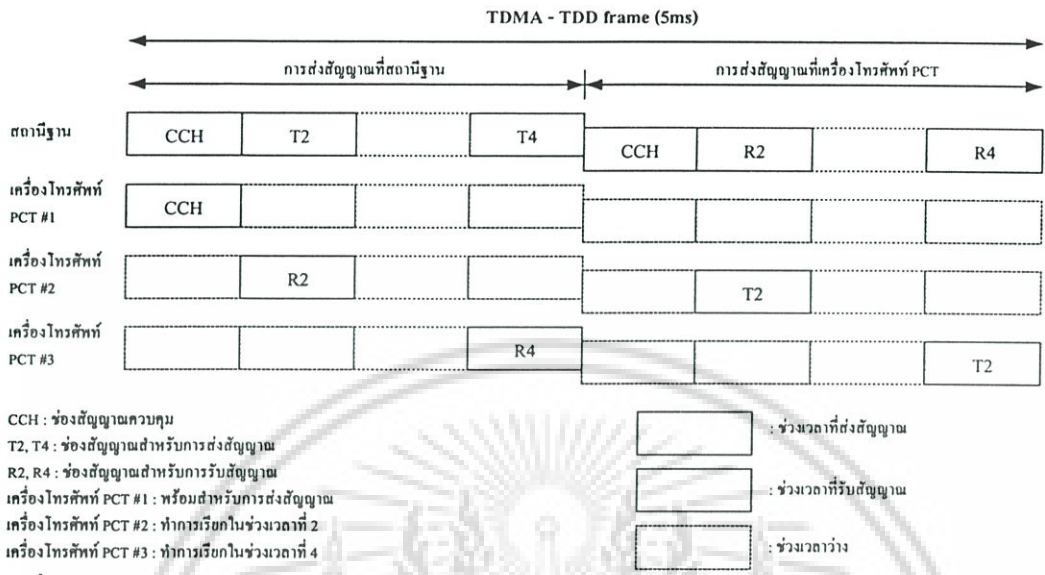
การเข้ารหัสสัญญาณเสียงของระบบ จะใช้วิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ ADPCM ตามมาตรฐาน G.711 และ G.726 ของ ITU-T [18] ซึ่งมีรายละเอียดดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด

จากรูป 2.18 แสดงการจัดช่องสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคลพีซีทีที ใน 1 ช่องสัญญาณในการติดต่อจะแบ่งเป็น 8 ช่วงเวลา (Time Slot) โดยการใช้เทคนิคแบบ TDMA / TDD (Time Division Multiple Access / Time Division Duplex) แบ่งเป็นสำหรับการส่งจะมี 4 ช่วงเวลา และรับ 4 ช่วงเวลา (มีช่องสัญญาณควบคุมรับ - ส่งอย่างละ 1 ช่อง) ในการติดต่อสื่อสารจะใช้ 1 ช่อง เวลาส่งและ 1 ช่องเวลารับ ดังนั้น 1 เซลล์จะสามารถทำการติดต่อได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พร้อม ๆ กัน 3 คู่สนทนา นั่นคือ สถานีเซลล์ 1 เครื่อง จะใช้เครื่องโทรศัพท์พีซีทีได้ 3 เครื่อง พร้อม ๆ กัน



รูปที่ 2.18 การจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA - TDD

2.5.2.4 วิธีการมอดูเลตสัญญาณ

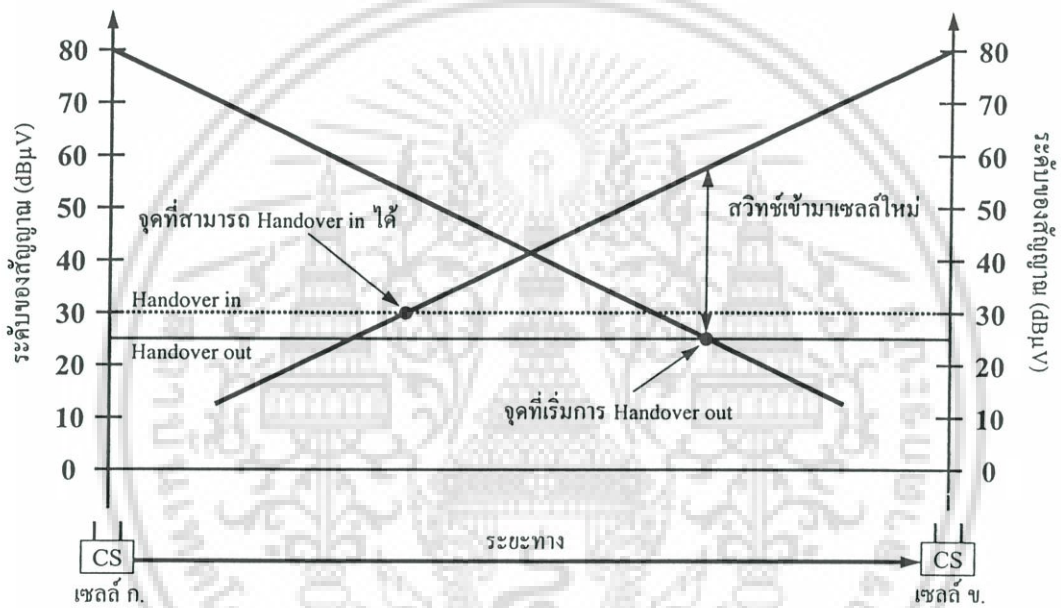
ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีนั้นเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบที่ใช้เทคนิคการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ ADPCM และใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ $\pi/4$ QPSK ($\pi/4$ Quadrature Phase Shift Keying) [17] ซึ่งเป็นเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณที่ปรับปรุงมาจากการมอดูเลตแบบ QPSK โดยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ $\pi/4$ QPSK [17]

2.5.2.5 การข้ามเซลล์ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

การข้ามเซลล์จะใช้เทคนิคการแฮนด์โอเวอร์ (Handover) เนื่องจากเซลล์มีขนาดเล็กมาก มีรัศมีการให้บริการใน 1 เซลล์ ประมาณ 300 – 500 เมตร การติดต่อสื่อสารที่มีการเคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง ไม่สามารถใช้เทคนิคการแฮนด์ออฟ (Hand – off) ที่ใช้ในการข้ามเซลล์ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์ลาร์ได้ เพราะเทคนิคการแฮนด์ออฟจำเป็นจะต้องมีการส่งถ่ายข้อมูลจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์ลาร์จากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง เพื่อทำการจัดเตรียมช่องสัญญาณล่วงหน้าเอาไว้รองรับการข้ามเซลล์ ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการถ่ายโอนข้อมูลพอสมควร เมื่อเซลล์มีขนาดเล็กมากจึงไม่มีเวลาเพียงพอสำหรับการถ่ายโอนข้อมูล โดยวิธีการแฮนด์โอเวอร์จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ เมื่อสัญญาณที่รับได้จากเครื่องโทรศัพท์พีซีทีมีระดับของสัญญาณต่ำลงจนถึงระดับเทรชโฮลด์ของการแฮนด์โอเวอร์อื่น (30 dB μ V) เครื่องโทรศัพท์พีซีทีจะทำการตรวจหาสัญญาณจากเซลล์ข้างเคียง โดยจะเลือกเซลล์ที่มีสัญญาณแรงที่สุด ในกรณีที่ช่องสัญญาณของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์ที่มีสัญญาณแรงที่สุดถูกใช้งาน เครื่องโทรศัพท์พีซีทีก็จะเปลี่ยนไปเลือกเซลล์ที่สัญญาณแรงเป็นอันดับ 2 แทน และเมื่อหาสัญญาณแรงที่สุดที่เซลล์ใหม่ได้แล้ว เครื่องโทรศัพท์พีซีที ก็จะทำการยกเลิกการสื่อสารในเซลล์เดิมและเปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณในเซลล์ใหม่เพื่อทำการสื่อสารต่อไป ดังแสดงรูปที่ 2.19 สำหรับช่องเวลาที่มีการข้ามเซลล์นี้ เครื่องโทรศัพท์พีซีทีจะส่งสัญญาณควบคุมไปติดต่อกับในเซลล์ใหม่ โดยไม่สนใจการติดต่อสื่อสารในช่วงเวลานั้น จะส่งผลให้ผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์พีซีทีในช่วงเวลาที่มีการข้ามเซลล์ จะไม่ได้ยินเสียงการสนทนาหรือสัญญาณขาดหาย (Muting time) เป็นเวลาประมาณ 2–3 วินาที สำหรับการใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีทีเมื่อมีการเคลื่อนที่สามารถใช้งานได้ที่ความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

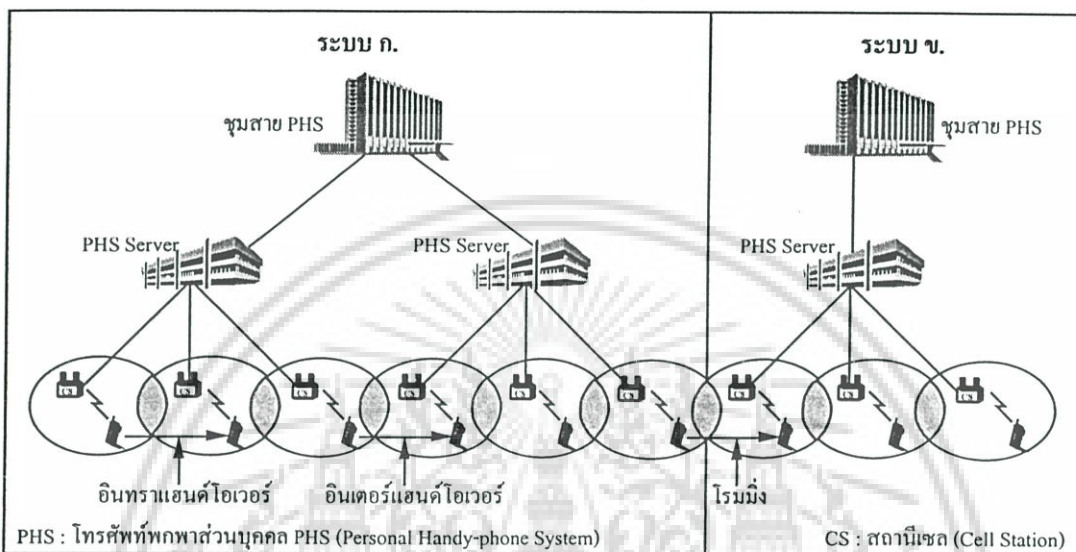


รูปที่ 2.19 ระดับของสัญญาณที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ข้ามเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง

การแฮนด์โอเวอร์จะแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบที่ 1 เรียกว่า อินทราแฮนด์โอเวอร์ จะเป็นการข้ามเซลล์ของโทรศัพท์พีซีทีในกลุ่มที่ต่อกับ PCT Server เดียวกัน แบบที่ 2 เรียกว่า อินเตอร์แฮนด์โอเวอร์ จะเป็นการข้ามเซลล์ของโทรศัพท์พีซีทีที่อยู่ต่าง PCT Server กันและในแบบที่ 3 เรียกว่า การโรมมิ่ง (Roaming) จะเป็นการข้ามเซลล์ของโทรศัพท์พีซีทีที่มีโครงข่ายผู้ให้บริการต่างกัน [10,14] ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ในการข้ามเซลล์ด้วยวิธีการแฮนด์โอเวอร์แต่ละแบบนั้นจะใช้เวลาไม่เท่ากัน โดยสังเกตได้จากการเกิดการขาดหายของสัญญาณเสียง ขณะที่ส่งสัญญาณควบคุมในการข้ามเซลล์จะประมาณ 2 วินาที สำหรับแบบอินทราแฮนด์โอเวอร์ 3 วินาที สำหรับแบบอินเตอร์แฮนด์โอเวอร์ และ 4 วินาที สำหรับการโรมมิ่ง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวางรูปแบบของเซลล์ให้มีการข้ามเซลล์อยู่ในกลุ่มเซลล์ของ PCT Server เดียวกัน เพื่อลดเวลาใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขาดหายของสัญญาณเสียงให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ สำหรับการข้ามเซลล์ด้วยการใช้เทคนิคการแฮนด์โอเวอร์นั้นจะใช้ระดับของสัญญาณเป็นตัวกำหนด โดยระดับของสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์พีซีทีจะทำการข้ามเซลล์ เราเรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์เอาท์ (Handover out : 25 dBμV) ดังแสดงในรูปที่ 2.19

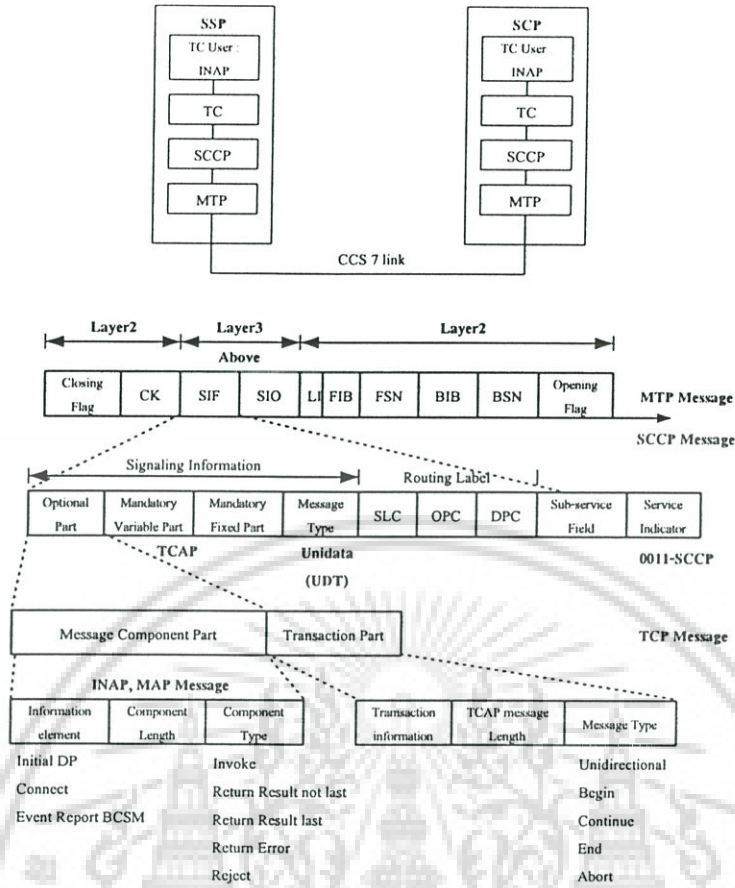


รูปที่ 2.20 การแฮนด์โอเวอร์ทั้ง 3 แบบ ในระบบโทรศัพท์พีซีที

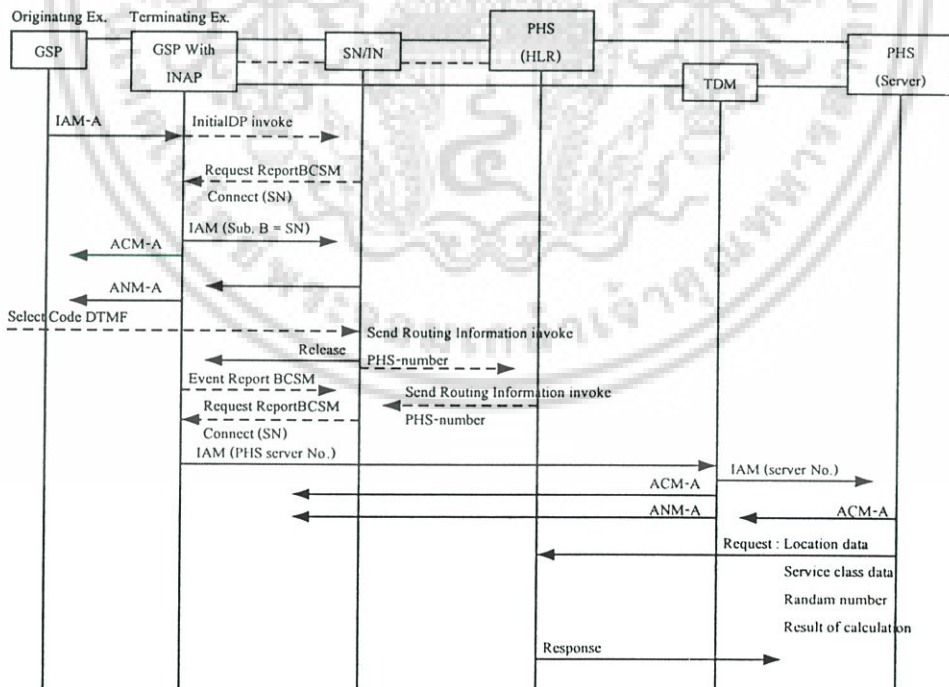
2.5.2.6 ระบบโพรโตคอลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

โพรโตคอลที่ใช้สำหรับการติดต่อระหว่างชุมสาย (SSP : Service Switching Point) [15] กับส่วนของการควบคุมการให้บริการ (SCP : Service Control Point) [15] นั้น จะใช้ฟังก์ชัน ของการทำงานในระบบควบคุมสัญญาณหมายเลข 7 (CCS No.7) โดยระดับของโพรโตคอล และเฟรมของสัญญาณควบคุมจะแสดงดังในรูปที่ 2.21 สำหรับลำดับขั้นตอนการติดต่อสื่อสารจะแสดงดังในรูปที่ 2.22

โพรโตคอลที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะแสดงดังรูปที่ 2.23 และรูปที่ 2.24 โดยรูปที่ 2.23 แสดงโพรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง ในรูปที่ 2.24 จะเป็นกรณีที่ไม่สามารถทำการแฮนด์โอเวอร์ได้สำเร็จตามขั้นตอนในรูปที่ 2.23 เครื่องโทรศัพท์พีซีทีให้พยายามกลับไปใช้งานช่องสัญญาณที่เซลล์เดิม โดยในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องโทรศัพท์พีซีทีและเซลล์สเตชันนั้น จะเป็นไปตามมาตรฐาน Air – Interface RCR – 28

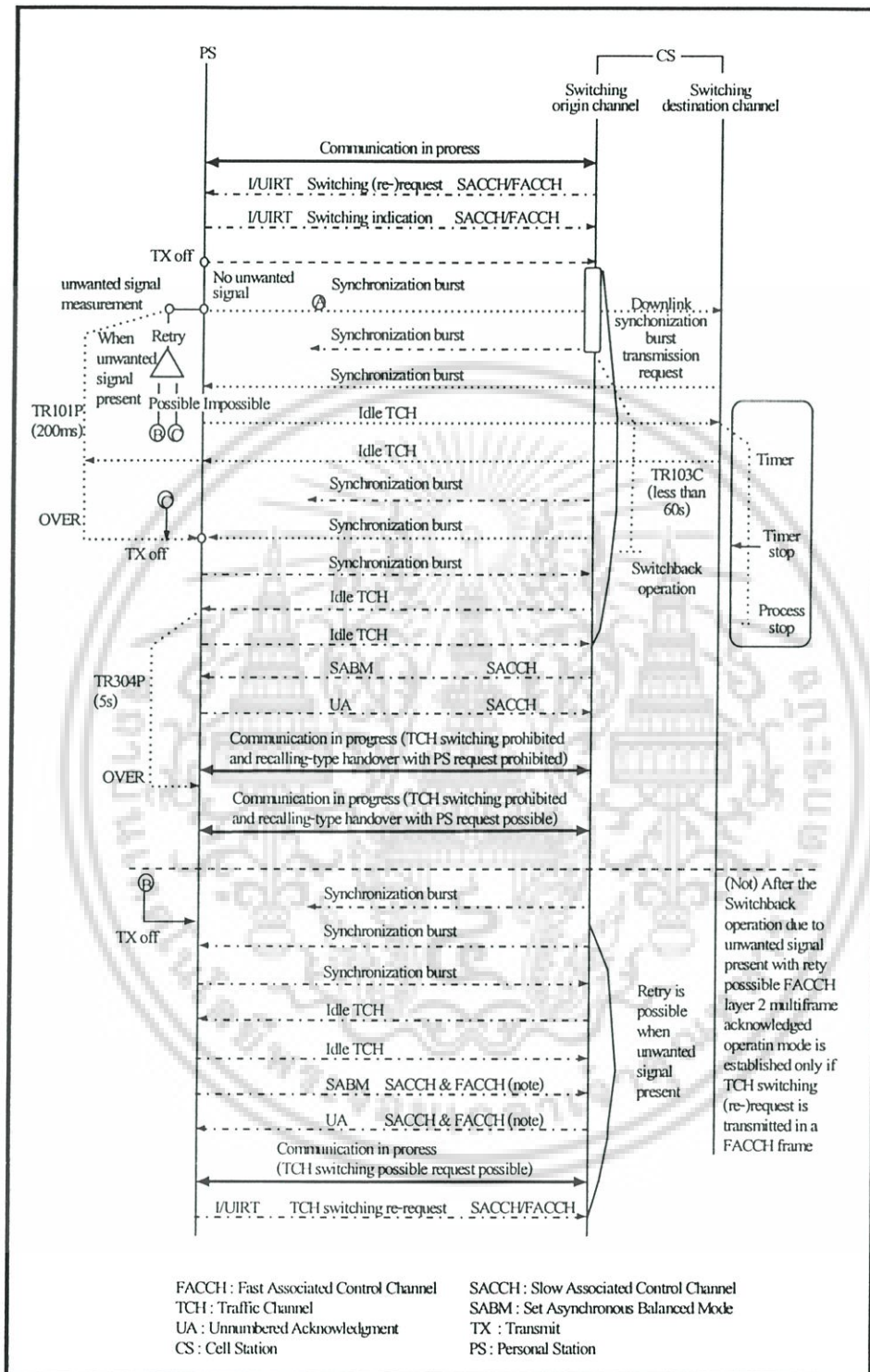


รูปที่ 2.21 โพรโตคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดของสัญญาณควบคุม



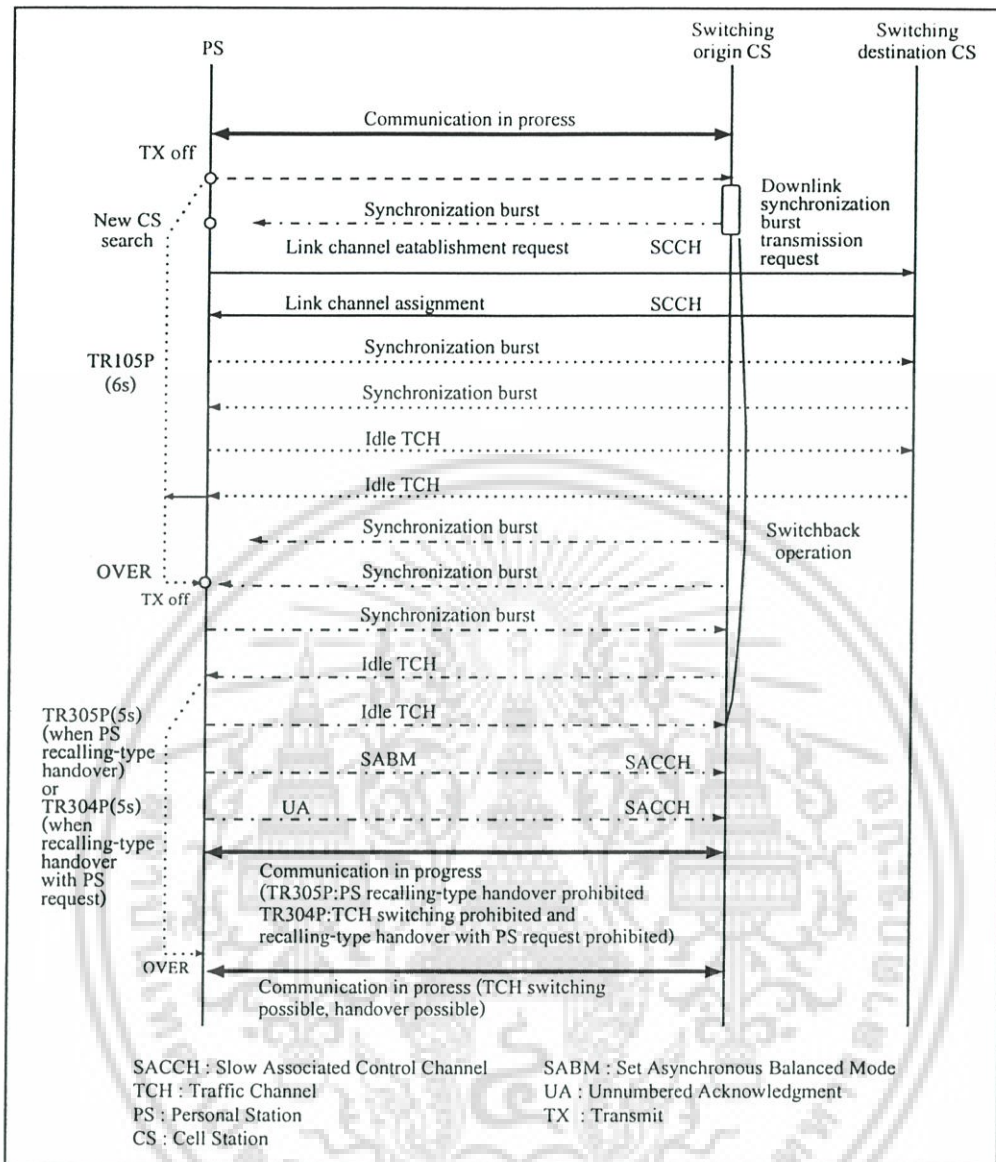
รูปที่ 2.22 ลำดับการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคลพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 โพรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 โพรโตคอลของการกลับมาใช้เซลล์เดิมเมื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ไม่สำเร็จ

2.5.2.7 รายละเอียดของสถานีเซลล์และเครื่องโทรศัพท์พีซีที

สถานีเซลล์ที่นำมาใช้จะมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดติดตั้งภายในตัวอาคาร โดยจะมีกำลังส่ง 10 มิลลิวัตต์ และชนิดติดตั้งนอกอาคารมีกำลังส่งขนาด 20 มิลลิวัตต์ 200 มิลลิวัตต์ และ 500 มิลลิวัตต์ สำหรับลักษณะของเครื่องโทรศัพท์พีซีทีจะมีลักษณะคล้ายกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่ว ๆ ไป จะมีขนาดเล็กกว่าเนื่องจากใช้ความถี่ในย่านสูงกว่าปกติ คือ ประมาณ 1.9 GHz น้ำหนักของเครื่องจะอยู่ประมาณ 90 – 150 กรัม มีแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จได้ (Ni – Cd, Ni – MH, Lithium Ion) ซึ่งสามารถเปิดเครื่องรอรับสายได้นานถึง 500 ชั่วโมงขึ้นไป ถึง 600 ชั่วโมง และสามารถใช้

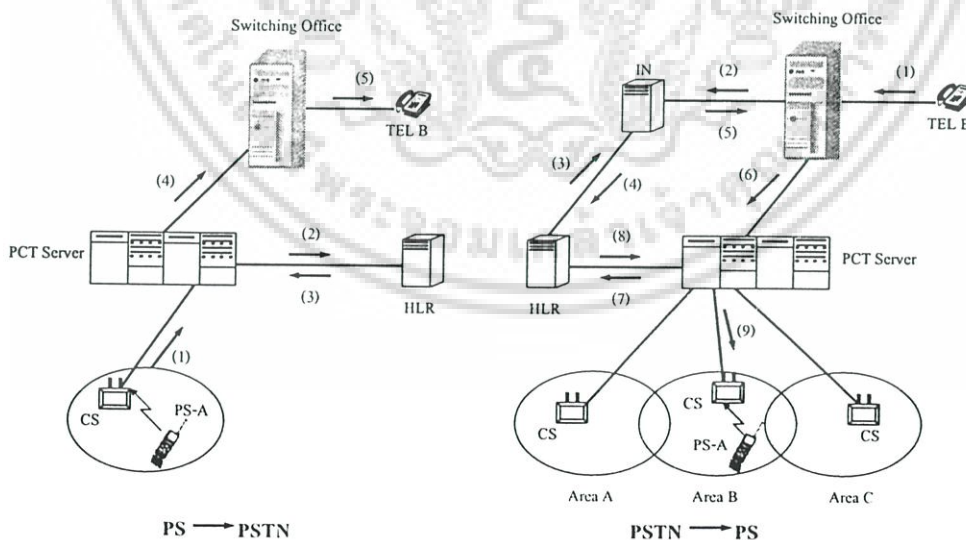
สนทนาได้นานถึง 5 ชั่วโมงขึ้นไป จึงทำให้การใช้งานสะดวกไม่ต้องกังวลในการพกพาแบตเตอรี่สำรอง มีข้อดีสำหรับการให้บริการข้อมูลแบบดิจิทัล เช่น FAX, Data terminal ฯลฯ

2.5.2.8 สายอากาศของเซลล์สแตชันระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล PCT

สายอากาศของเซลล์สแตชันที่ติดตั้งใช้งาน จะใช้สายอากาศที่มีค่าอัตราขยายต่างกัน คือ ขนาด 2 dBi สำหรับเซลล์ขนาด 10 มิลลิวัตต์ 4 dBi, 7 dBi, 9 dBi และ 13 dBi สำหรับเซลล์ขนาด 20, 200 และ 500 มิลลิวัตต์ โดยสายอากาศที่มีค่าอัตราขยายสูง จะสามารถกระจายคลื่นในแนวอนได้ดี ถึงแม้ว่าในแนวตั้งจะมีปัญหาบ้าง เพราะมีไซด์โลปมาก ซึ่งจะเป็นผลให้การกระจายคลื่นไปยังอาคารสูงทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร

2.5.3 กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะมีรายละเอียดขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.25 จากรูปเมื่อมีการเรียกจากเครื่องโทรศัพท์พีซีที เข้ามายัง PCT Server ข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์พีซีที จะถูกส่งไปยัง HLR (Home Location Register) เพื่อทำการตรวจสอบว่า เป็นผู้ใช้บริการมีการลงทะเบียนกับระบบแล้วหรือไม่ ถ้ามีการลงทะเบียนกับระบบ PCT Server ก็จะทำการเชื่อมต่อไปยังชุมสายปลายทาง ในทำนองเดียวกัน เมื่อมีผู้เรียกจากเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานมายังเครื่องโทรศัพท์พีซีที ข้อมูลที่ส่งมายัง PCT Server ก็จะถูกส่งไปตรวจสอบยัง HLR ว่าเป็นผู้ใช้บริการที่ถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้องก็จะส่งมายัง PCT Server ให้ทำการเรียกหาใน Paging Area ต่างๆ จนสามารถเรียกเครื่องโทรศัพท์พีซีทีได้



รูปที่ 2.25 การเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออกจากโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น

3.1 หลักการแพร่กระจายคลื่น

การสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่จะใช้การสื่อสารทางคลื่นวิทยุซึ่งใช้การกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในอากาศ ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะเป็นค่าส่วนกลับกำลังสองกับระยะทางตามทฤษฎีของ Inverse-square law ถ้ากำหนดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นลักษณะรอบทิศทาง โดยเครื่องส่งมีกำลังงานที่ส่งออกไป P_r การแพร่กระจายรอบทิศทางสามารถพิจารณาเป็นลักษณะของวงกลมรอบๆ แหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีรัศมีเป็น ds เป็นค่าดิฟเฟอเรนเชียลของพื้นที่ผิว (Differential of surface) จึงทำให้กำลังงานที่จุดใดๆ สามารถเทียบได้กับพื้นที่ส่วนเล็กๆ (A) ของพื้นผิวทรงกลม ค่าความหนาแน่นของกำลังงานจะเท่ากับ

$$P_r = P_r(\theta, \phi) ds \quad (3.1)$$

โดยที่ P_r เป็นกำลังที่เครื่องรับได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งมีความสัมพันธ์รูปแบบปกติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำหนดโดย

$$P_r(\theta, \phi) = \left[\frac{E_\theta^2(\theta, \phi) + E_\phi^2(\theta, \phi)}{Z_0} \right] \quad (3.2)$$

$$E_\theta(\theta, \phi) = \frac{E_\theta(\theta, \phi)}{E_\theta(\theta, \phi)_{max}} \quad (3.3)$$

$$E_\phi(\theta, \phi) = \frac{E_\phi(\theta, \phi)}{E_\phi(\theta, \phi)_{max}} \quad (3.4)$$

Z_0 เป็นค่า Intrinsic impedance โดยมีค่า $\approx 377 \Omega$, $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}}$

μ_0 เป็นค่า Permeability ของ free space โดยมีค่าเท่ากับ $4\pi \times 10^{-12}$ H/m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ϵ_0 เป็นค่า Permittivity ของ free space โดยมีค่าเท่ากับ $8.854187817 \times 10^{-12}$ F/m

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

ถ้ากำหนดให้สายอากาศเป็นแบบไอโซโทรปิก และพื้นผิวการกระจายคลื่นเป็นทรงกลมดังรูปที่ 3.1 ดังนั้นกำลังส่งที่เครื่องรับได้รับคือ

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

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

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (3.6)$$

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

สมมติให้ G_r คือ อัตราขยายกำลังของสายอากาศจากเครื่องส่ง ดังนั้นความหนาแน่นของกำลังงานในทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นจะได้เป็น

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi r^2} \quad (3.7)$$

ส่วนทางด้านสายอากาศของเครื่องรับก็จะติดตั้งในทิศทางที่สามารถรับสัญญาณได้สูงสุด สมมติให้ P_r คือ กำลังงานที่สายอากาศของเครื่องรับได้รับ ในกรณีเช่นนี้สายอากาศจะใช้พื้นที่เอฟเฟคทีฟ (A_{eff}) ในการรับสัญญาณ ดังนั้นค่ากำลังงานที่รับได้จะมีค่าเป็น

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi r^2} \times A_{eff} \quad (3.8)$$

ในสายอากาศใดๆก็ตาม อัตราส่วนของการขยายสูงสุดต่อพื้นที่เอฟเฟคทีฟ คือ

$$\frac{A_{eff}}{G_r} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ λ คือ ความยาวคลื่นของคลื่นที่แพร่กระจาย ถ้า G_t คือ อัตราการขยายกำลังของสายอากาศรับ กำลังงานในการรับสัญญาณจะหาได้ดังสมการการแพร่กระจายคลื่นของฟรีอิส (Friis free-space equation) ดังนี้

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

โดย

P_t เป็นกำลังงานในการส่งสัญญาณ

P_r เป็นกำลังงานในการรับสัญญาณ

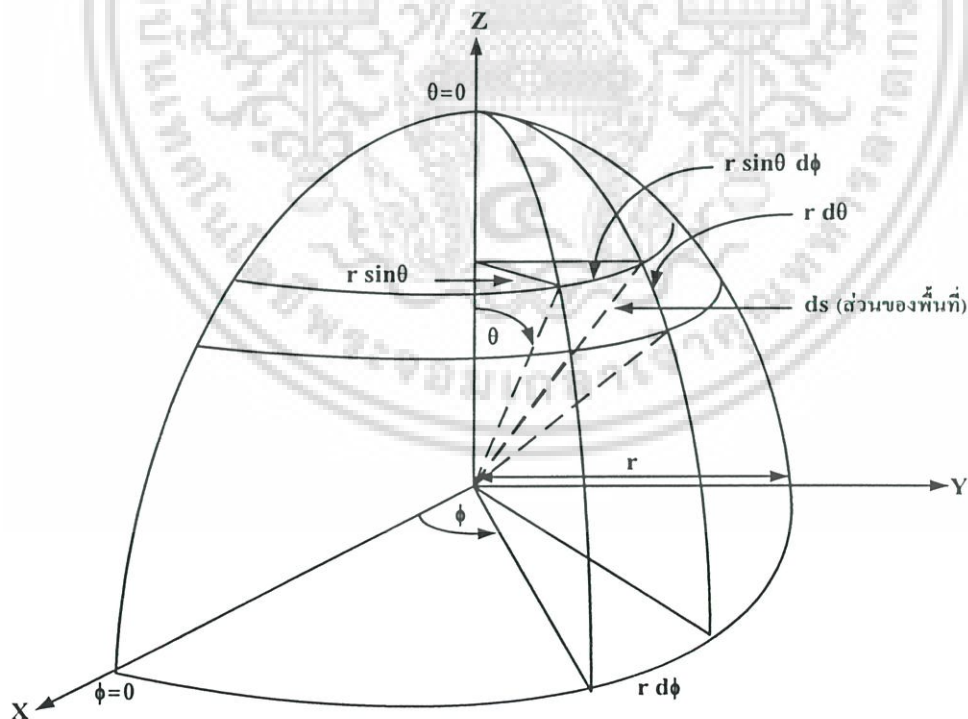
G_t เป็นเกนของสายอากาศส่ง

G_r เป็นเกนของสายอากาศรับ

r เป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่ง

L เป็นการลดทอนของระบบ ($L > 1$)

λ เป็นความยาวคลื่นในหน่วยเมตร



รูปที่ 3.1 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังงานที่รับได้จะแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งยกกำลังสอง และแปรผกผันกับความถี่ยกกำลังสองอีกด้วย ซึ่งถ้าระยะทางหรือความถี่เพิ่มขึ้น 2 เท่า จะทำให้กำลังงานที่รับได้น้อยลง 4 เท่าจากค่าเดิมโดยสมการลดทอนเนื่องจากระยะทาง (Path Loss) ในหน่วยเดซิเบล กำหนดได้โดย

$$L = -10 \log \frac{P_r}{P_t} = -10 \log \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 r^2 L} \quad (3.11)$$

$$L(\text{dB}) = G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) - (32.45 + 20 \log r + 20 \log f) \quad (3.12)$$

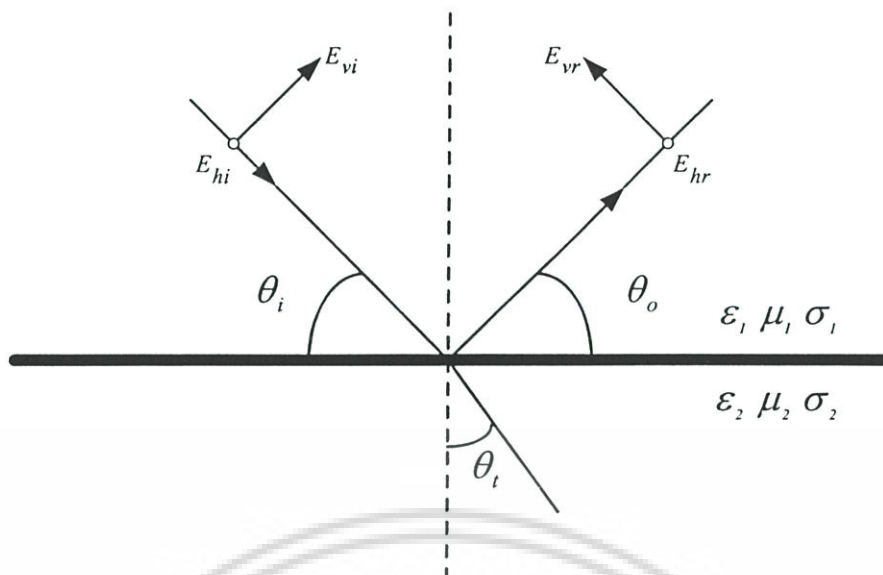
ถ้าอัตราส่วนของกำลังงานที่รับได้กับกำลังงานที่ส่ง (โดยใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิก ค่าอัตราการขยายกำลังของ G_t และ G_r จะมีค่าเท่ากับ 1) และแทนค่าความสัมพันธ์ $\lambda = c/f$ (โดย c คือความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s) จะได้สมการการลดทอนเป็น

$$L(\text{dB}) = 32.45 + 20 \log r + 20 \log f \quad (3.13)$$

3.2 กลไกพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น (Basic propagation mechanisms)

3.2.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection)

การสะท้อนของคลื่นจะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบสิ่งกีดขวางที่มีมิติกว้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของสัญญาณ เช่น การสะท้อนจากพื้นผิวของโลกและจากสิ่งก่อสร้าง หรือคลื่นที่สะท้อนมาจากผนัง ซึ่งก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นที่อุปกรณ์รับสัญญาณ เมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบตัวกลางสองตัวที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกแตกต่างกัน คลื่นส่วนหนึ่งจะมีการสะท้อนกลับและคลื่นอีกส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านไป สำหรับในกรณีที่คลื่นตกกระทบอากาศปกตินบนผิวตัวนำไฟฟ้า คลื่นจะมีการสะท้อนกลับโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน ถ้าคลื่นตกกระทบบนผิวของฉนวนไฟฟ้า พลังงานส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านเข้าไปในผิว พลังงานอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับและจะไม่มีการสูญเสียของพลังงานในการดูดกลืน ซึ่งความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนแสดงด้วยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเฟรสเนล (Fresnel reflection coefficient : Γ)



รูปที่ 3.2 การสะท้อนของคลื่น

จากรูปที่ 3.2 จะแสดงลักษณะการตกกระทบและสะท้อนของคลื่น โดยตัวห้อย v และ h จะหมายถึงการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ และตัวห้อย i และ r จะหมายถึงสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบและสะท้อนตามลำดับ ค่าเพอร์มิตติวิตี ค่าความแทรกซึม และสภาพการนำของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 จะแทนด้วย $\epsilon_1, \mu_1, \sigma_1$ และ $\epsilon_2, \mu_2, \sigma_2$ ตามลำดับ ในกรณีที่ตัวกลางที่ 1 เป็นอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสำหรับการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวนอน จะแสดงได้ดังสมการที่ (3.14) และสมการที่ (3.15)

$$\Gamma_v = \frac{E_{vr}}{E_{vi}} = \frac{\epsilon_r \sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}}{\epsilon_r \sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}} \quad (3.14)$$

$$\Gamma_h = \frac{E_{hr}}{E_{hi}} = \frac{\sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}}{\sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}} \quad (3.15)$$

เมื่อ ϵ_r เป็นค่าเพอร์มิตติวิตีที่สัมพันธ์กันระหว่างตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 และ θ_i เป็นมุมตกกระทบที่ทำให้สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน Γ_h มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะเรียกมุมนี้ว่ามุมของบริวสเตอร์ (Brewster angle) โคนสามารถเขียนสมการของมุมบริวสเตอร์ ได้ดังสมการที่ (3.16)

$$\sin \theta_i = \frac{\sqrt{\epsilon_r - 1}}{\sqrt{\epsilon_r^2 - 1}} \quad (3.16)$$

การแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศส่งและตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตาจะเป็นไปตามสมการการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของฟรีอิส ซึ่งเป็นการพิจารณาคลื่นที่เดินทางผ่านสุญญากาศเท่านั้น แต่สำหรับรูปแบบการสะท้อนของคลื่นบนพื้นดินในรูปที่ 3.3 จะเป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่พิจารณาถึงคลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและเคลื่อนที่สะท้อนจากพื้นดิน (Two-ray model) โดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในลักษณะนี้ จะสมมุติให้ความยาวคลื่นมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งกีดขวางทั้งหมด ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งมีค่าน้อย และสมมุติให้ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ ค่าของสนามไฟฟ้าที่รับได้ทั้งหมด จะเป็นผลรวมระหว่างสนามไฟฟ้าในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา (E_{LOS}) หรือสนามไฟฟ้าที่ได้รับจากคลื่นตรงและค่าของสนามไฟฟ้าที่สะท้อนจากพื้นดิน (E_r) ที่ระยะทาง d_o จากรูปกำหนดให้ h_t เป็นความสูงของสายอากาศส่ง และ h_r เป็นความสูงของสายอากาศรับ ดังนั้น จากกฎของการสะท้อนจะแสดงได้ดังสมการที่ (3.17)

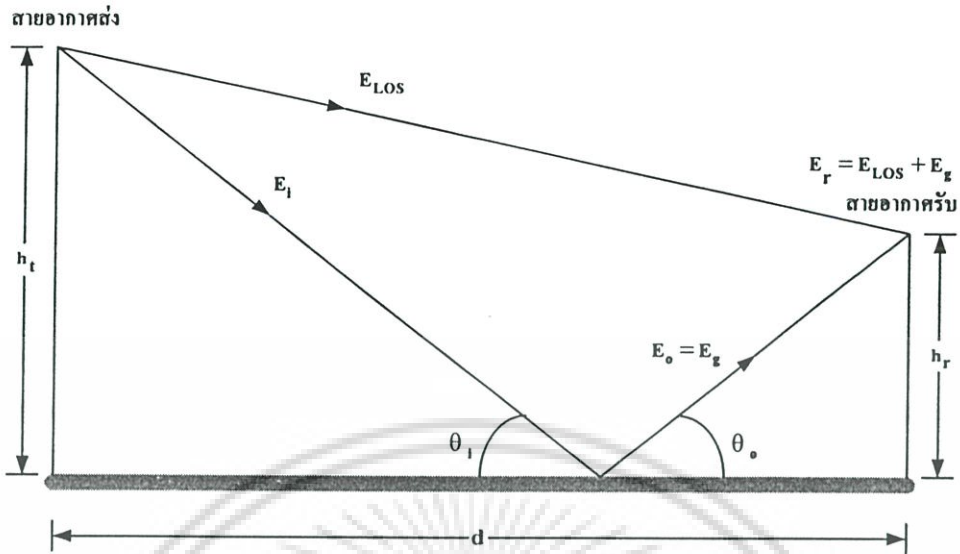
$$\theta_i = \theta_o \quad \text{และ} \quad E_o = \Gamma E_i \quad (3.17)$$

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

$$|E_r(d)| = \frac{2E_{LOS}d_o}{d} \sin \frac{\theta\Delta}{2} \quad (3.18)$$

โดยค่าความต่างเฟส ($\theta\Delta$) จะสัมพันธ์กับค่าความต่างของเส้นทาง (Δ) ระหว่างเส้นทางของคลื่นตรงและคลื่นสะท้อน ซึ่งมีความสัมพันธ์ ดังสมการที่ (3.19)

$$\theta\Delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} \quad (3.19)$$



รูปที่ 3.3 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก

จากรูปที่ 3.3 ถ้าระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (d) มีค่ามาก จะสามารถประมาณ ได้ดังสมการที่ (3.20)

$$\sin \frac{\theta \Delta}{2} \approx \frac{\theta \Delta}{2} = \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \quad (3.20)$$

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

$$E_r(d) \approx 2E_{LOS} \frac{2\pi h_t h_r d_o}{\lambda d^2} \approx \frac{k}{d^2} \quad (3.21)$$

โดย k เป็นค่าคงที่สัมพันธ์กับ E_{d_o} ซึ่งเป็นค่าสนามไฟฟ้าที่วัดได้ที่ระยะ d_o จากสายอากาศส่ง ค่าพลังงานที่วัดได้ที่ตำแหน่ง d จะแปรผันตรงกับค่าสนามไฟฟ้ายกกำลังสอง

ถ้าระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับมีค่ามากๆ พลังงานที่ได้รับก็จะมีค่าลดลงด้วยอัตรา 40 dB/decade โดยค่าพลังงานที่รับได้ และค่าของการลดทอนของสัญญาณจะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณจากพื้นดินในหน่วยเดซิเบล ได้ดังสมการที่ (3.22)

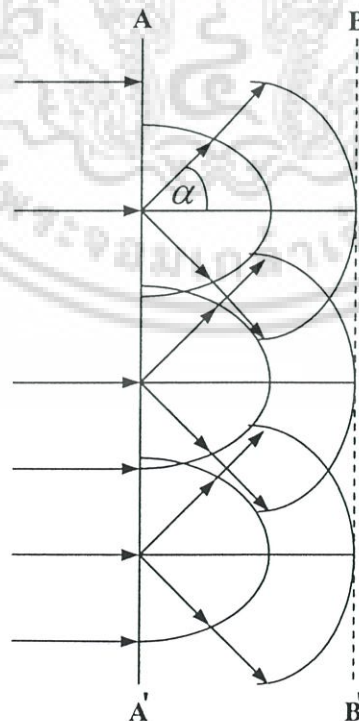
$$L(\text{dB}) = -10 \log(G_t) - 10 \log(G_r) - 20 \log(h_t) - 20 \log(h_r) + 40 \log(d) \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การหักเหของคลื่น (Diffraction)

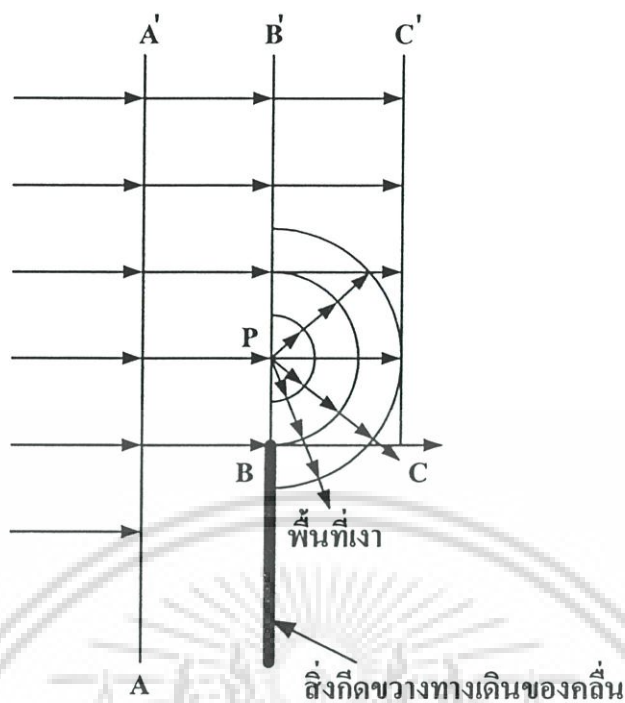
การหักเหของคลื่น (Diffraction) จะเกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งกีดขวางระหว่างเส้นทางการเดินทางของคลื่นระหว่างอุปสรรคส่งและรับสัญญาณ โดยพื้นผิวของสิ่งกีดขวางมีมุม หรือมีลักษณะที่ไม่เรียบ คลื่นที่มีการหักเหอันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวาง จะมีการคลื่นที่ผ่านอากาศ และเคลื่อนที่บริเวณด้านหลังของสิ่งกีดขวาง (ทำให้เกิดพื้นที่เงา) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์หักเหของคลื่นที่ความถี่สูงการหักเหจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางเรขาคณิตของสิ่งกีดขวาง แอมพลิจูด เฟส และการโพลาไรซ์ของคลื่นที่จุดที่มีการหักเห ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการหักเหของคลื่น สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีเบื้องต้นของฮิวเกน (Huygen's principle) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า "ทุกๆ จุดบนคลื่นวิทยุสามารถพิจารณาได้ในลักษณะเช่นเดียวกับแหล่งกำเนิดคลื่น ในอันดับที่สอง ซึ่งสามารถเป็นจุดกำเนิดคลื่นย่อยอื่นๆ และคลื่นย่อยต่างๆ เหล่านี้ จะประกอบกันเป็นหน้าคลื่นใหม่ในเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น การหักเหที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายของหน้าคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดเขตพื้นที่เงา ซึ่งค่าความหนาแน่นของคลื่นที่เกิดจากการหักเห ในเขตพื้นที่เงาจะมีการรวมกันแบบเวกเตอร์ของคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นทั้งหมด"

จากรูปที่ 3.4 เมื่อพิจารณา AA' จะเห็นว่ามีเกิดการเกิดคลื่นในแนวต่างๆ ที่แตกกระจายออกไปในมุม α ซึ่งมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน ค่าแอมพลิจูดของคลื่นต่างๆ เป็น $(1 - \cos \alpha)$ แต่ในทิศทางตรงข้ามมุม α จะมีค่าเท่ากับศูนย์และมีค่าแอมพลิจูดสูงสุดคือเท่ากับ 2 ในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งมีมุม α เท่ากับ π จะมีค่าแอมพลิจูดต่ำสุด คือมีค่าเท่ากับ 1



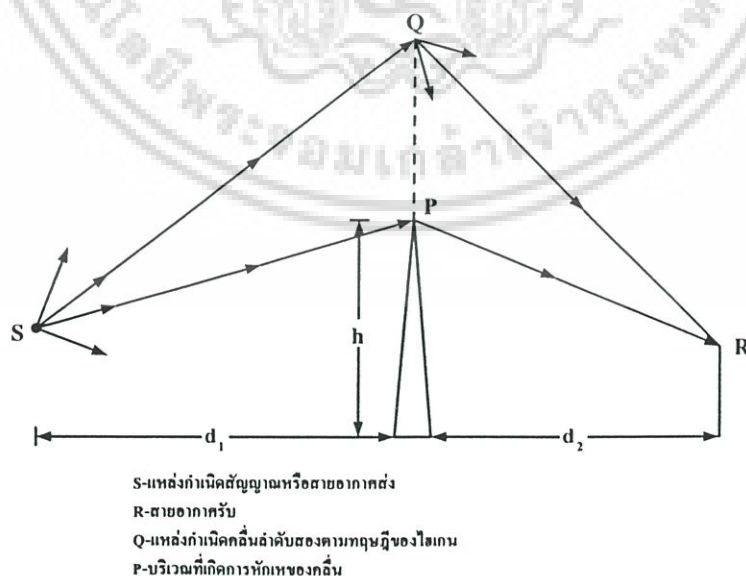
รูปที่ 3.4 หลักการของ Huygen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 การหักเหของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง

จากรูปที่ 3.5 เมื่อมีเขตพื้นที่เงาเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เช่น ภูเขา หรืออาคาร ตึ๊งก่อสร้างต่างๆ เหล่านี้ โดยให้ลักษณะของสิ่งกีดขวางเป็นเหลี่ยมแหลม และมีการหักมุม ที่มีลักษณะไม่เรียบ ซึ่งการลดทอนเนื่องจากการหักเหของคลื่นที่เกิดขึ้นบริเวณนี้ จะสามารถอธิบายอธิบายด้วยหลักการของฮิวเกน



รูปที่ 3.6 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$$E_d = E_o F(\nu) \quad (3.23)$$

โดย E_o เป็นความแรงของสนามไฟฟ้าในอากาศในบริเวณที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง และ $F(\nu)$ เป็นฟังก์ชันของค่าพารามิเตอร์การหักเหของเฟรสเนลและไคร์ชอฟฟ์ (Fresnel-Kirchoff diffraction parameter- ν) โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (3.24)

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

โดย h เป็นความสูงของสิ่งกีดขวาง และ d_1 และ d_2 เป็นระยะทางของสิ่งกีดขวางจากสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ตามลำดับ ถ้าสิ่งกีดขวางยื่นออกมาเหนือเส้นทางลากจากจุด S ไปยังจุด R โดยค่าของ h และ ν จะเป็นบวก แต่ถ้าสิ่งกีดขวางมีระดับต่ำกว่าสภาวะการมองเห็นในระดับสายตา ค่าของ h และ ν จะเป็นลบ และค่าอินทิกรัลของเฟรสเนลจะสามารถหาได้จากตาราง เพื่อใช้ในการหาค่า ν โดยสมการการลดทอนเนื่องจากการหักเหในหน่วยเดซิเบลที่เกิดขึ้นจากสิ่งกีดขวางจะแสดงได้ดังสมการที่ (3.25)

$$L_d = 20 \log |F(\nu)| \quad (3.25)$$

เนื่องจากลักษณะของสมการการลดทอนเนื่องจากการหักเหที่จะนำไปหาค่าอินทิกรัลของเฟรสเนลนั้นยากต่อการนำไปคำนวณ ดังนั้นในปี Lee จึงได้ทำการหาค่าคำตอบโดยประมาณในหน่วยเดซิเบลไว้ดังสมการที่ (3.26) ถึงสมการที่ (3.30)

$$L_d = 0 \quad 1 \leq \nu \quad (3.26)$$

$$L_d = 20 \log(0.5 + 0.62\nu) \quad 0 \leq \nu \leq 1 \quad (3.27)$$

$$L_d = 20 \log(0.5 \exp(0.95\nu)) \quad -1 \leq \nu \leq 0 \quad (3.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_d = 20 \log \left(0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.1\nu + 0.38)^2} \right) \quad -2.4 \leq \nu \leq -1 \quad (3.29)$$

$$L_d = 20 \log(-0.225/\nu) \quad \nu \geq -2.4 \quad (3.30)$$

3.2.3 การกระเจิงของคลื่น (Scattering)

การกระเจิงหรือการแตกกระจายของคลื่น (Scattering) จะเกิดขึ้นเมื่อตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน เช่น สิ่งกีดขวางต่างๆ มีขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น และจำนวนของสิ่งกีดขวางต่อหน่วยปริมาตรมีจำนวนมาก ในการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณในสิ่งแวดล้อมของคลื่นวิทยุ จะประกอบด้วยค่าการลดทอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนและการหักเหของคลื่นควบคู่กัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระ พลังงานสะท้อนจะมีการแตกกระจายออกไปในทิศทางต่างๆ ดังนั้นสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ต้นไม้ เสาไฟฟ้า และพื้นผิวขรุขระต่างๆ จะได้รับพลังงานที่กระจายออกมา สำหรับพื้นผิวที่มีความขรุขระมากๆ จะใช้การทดสอบโดยหลักการของเรย์ลีย์ (Rayleigh criterion)

3.3 วิธีการหาค่าสูญเสียของสัญญาณ

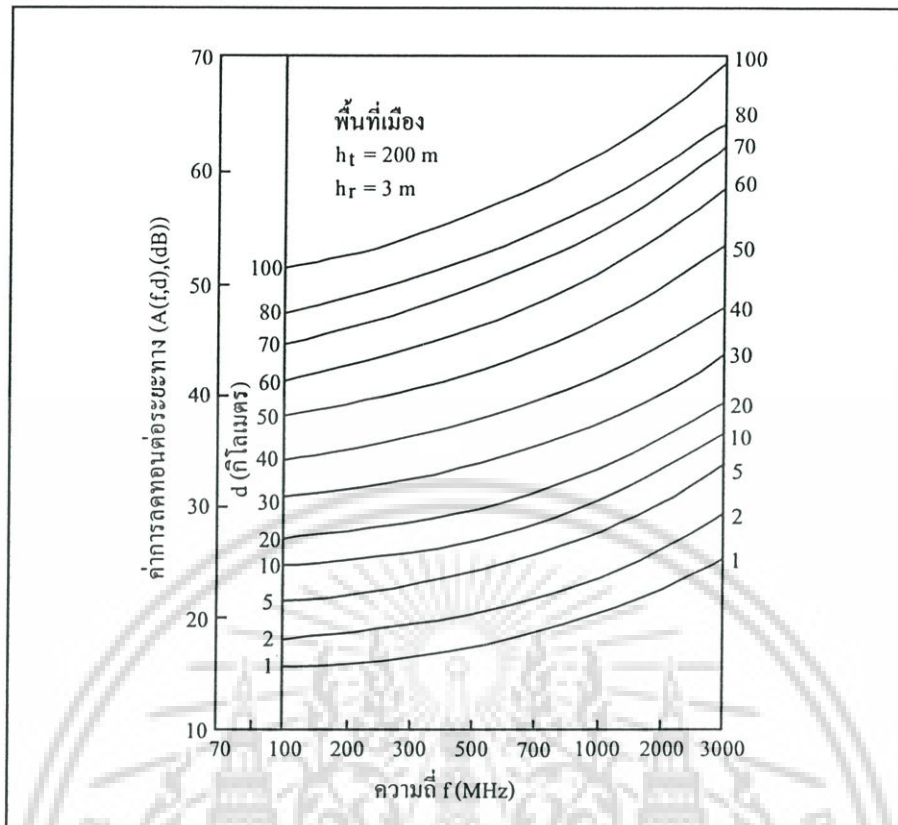
วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ จะสามารถอธิบายได้ 2 ลักษณะ อันได้แก่ การอธิบายโดยอาศัยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical Method) การลดทอนของสัญญาณและการอธิบายโดยวิธีการสังเกต (Empirical Method) โดยสามารถนำมาใช้ในการอธิบายร่วมกันได้ ซึ่งอธิบายร่วมกันได้ ซึ่งการอธิบายโดยการสังเกต จะใช้หลักการที่เรียกว่า “Fitting curves” และการอธิบายโดยวิธีการวิเคราะห์ จะสามารถทำได้โดยการวัดระดับความแรงของสัญญาณ และทำการรวบรวมไว้เป็นข้อมูลทางสถิติ หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลทางสถิตินามาวิเคราะห์ เมื่อนำทั้งสองวิธีมารวมกัน ก็สามารถที่จะหาค่าแฟกเตอร์เบื้องต้นของการลดทอนของสัญญาณได้ ตัวอย่างการหาค่าสูญเสียของสัญญาณที่แพร่กระจาย เช่น

3.3.1 วิธีการของ Okumura [19]

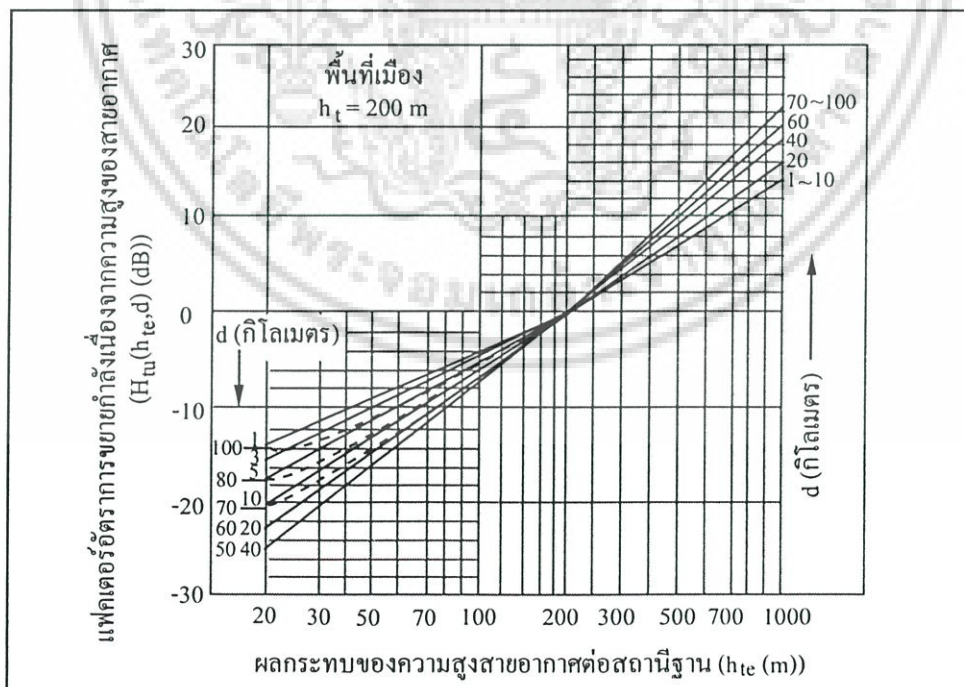
วิธีการของ Okumura จะเป็นการหาค่าการลดทอนจากเคิร์ฟความแรงของสัญญาณที่วัดได้ในตัวกลางพื้นฐานที่มีการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ โดยทำการวัดที่รอบกรุงโตเกียวที่ความสูงของสายอากาศส่ง h_t เท่ากับ 200 เมตร และความสูงของสายอากาศรับ h_r เท่ากับ 3 เมตร ซึ่งสามารถที่จะกำหนดความสัมพันธ์ของการแพร่กระจายของคลื่น ได้ดังสมการที่ 3.31

$$L = L_F + A(f, d) - G_{AREA} - G(h_r) \quad (3.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการลดทอนสัญญาณ $A(f,d)$

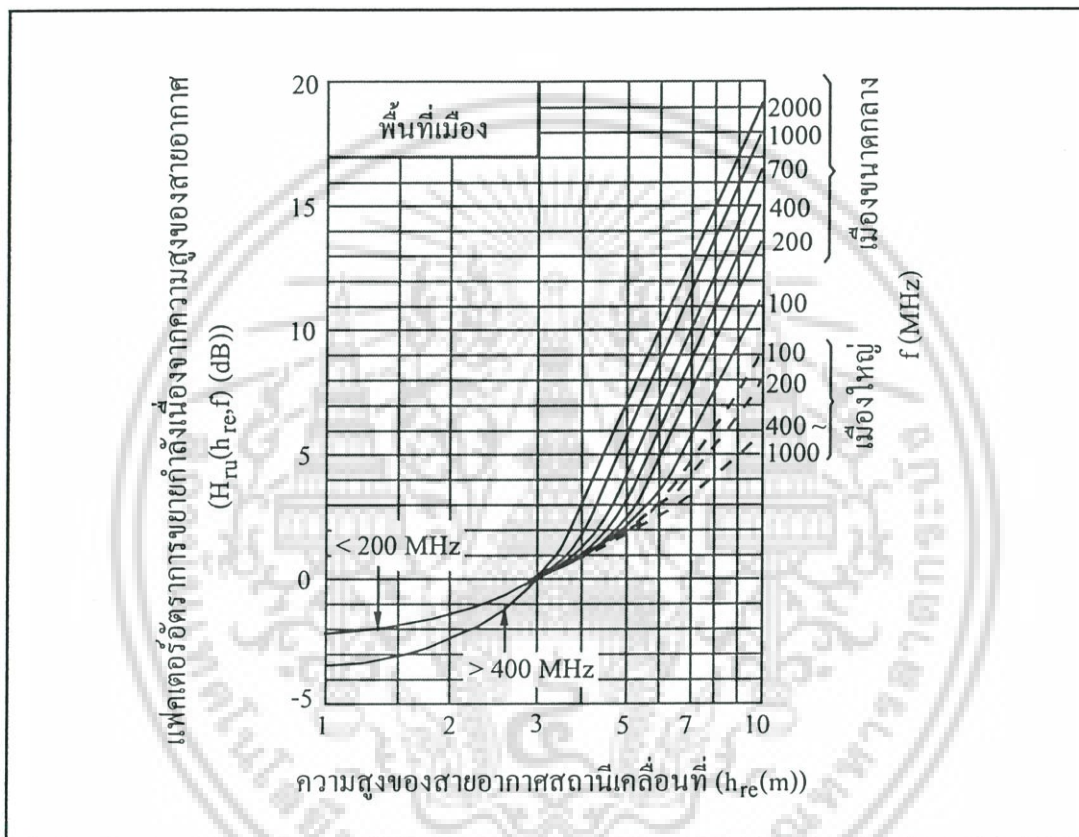


รูปที่ 3.8 ค่าอัตราขยายกำลังจากผลความสูงของสายอากาศส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.7 ค่า $A(f,d)$ เป็นพารามิเตอร์ที่เพิ่มขึ้นมา เป็นค่ากลางของการลดทอนของพื้นที่ในตัวของเมืองที่มีพื้นที่ราบเรียบ และมีความแตกต่างของระดับพื้นดินไม่เกิน 20 เมตร ค่า $G(h_r)$ เป็นค่าอัตราการขยายกำลังเนื่องจากความสูงของสายอากาศส่ง ดังรูปที่ 3.8 ซึ่งเขียนเป็นสมการได้เท่ากับ

$$G(h_r) = 20 \log \left(\frac{h_r}{200} \right) \quad \text{โดยที่ } h_r > 10 \text{ m} \quad (3.32)$$



รูปที่ 3.9 ค่าอัตราการขยายกำลังจากผลความสูงของสายอากาศรับ

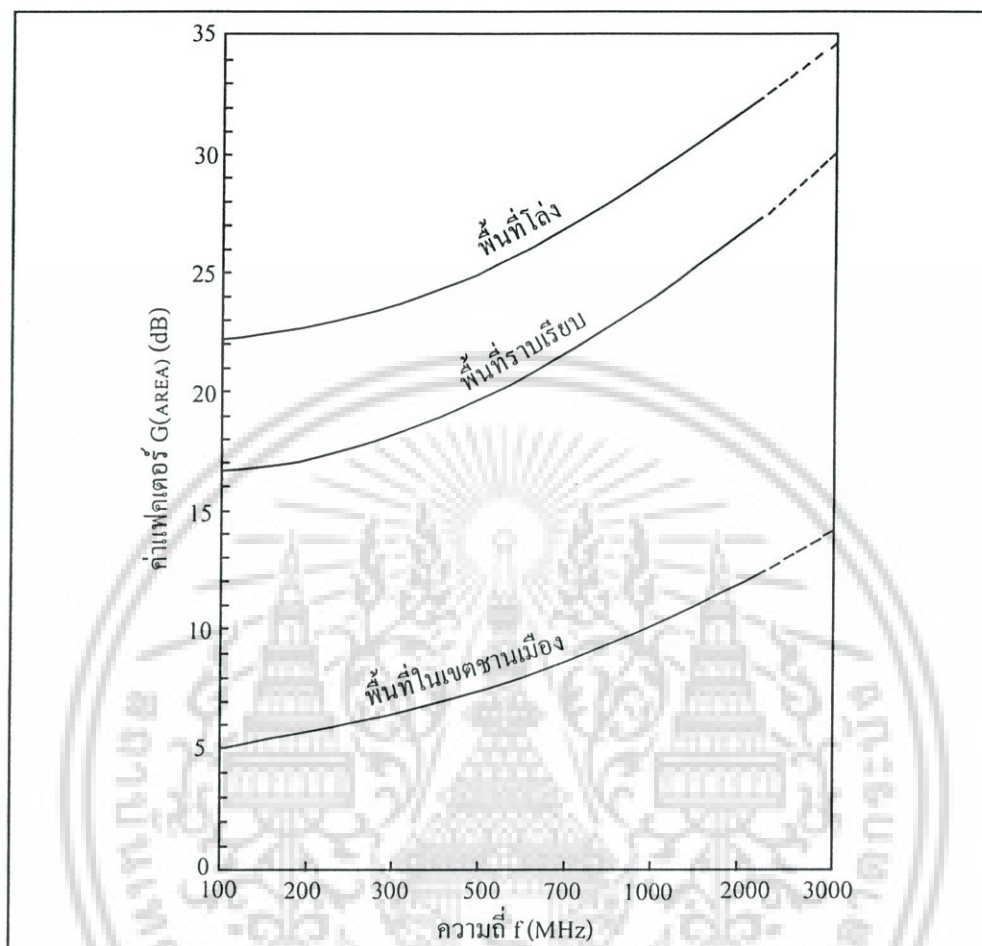
ส่วนค่า $G(h_r)$ เป็นค่าอัตราขยายกำลังเนื่องจากความสูงของสายอากาศรับ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และสามารถเขียนเป็นสมการได้เท่ากับ

$$G(h_r) = 10 \log \left(\frac{h_r}{3} \right) \quad \text{โดยที่ } h_r < 3 \text{ m} \quad (3.33)$$

$$G(h_r) = 20 \log \left(\frac{h_r}{3} \right) \quad \text{โดยที่ } 3 \text{ m} \leq h_r \leq 10 \text{ m} \quad (3.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า G_{AREA} เป็นค่าแฟคเตอร์ที่ใช้ในการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของค่าพารามิเตอร์ $A(f,d)$ โดยค่าของ G_{AREA} ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ค่าแฟคเตอร์ G_{AREA} ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของพารามิเตอร์ $A(f,d)$

3.3.2 วิธีการของ HATA [20] สำหรับเซลล์ขนาดเล็ก

วิธีการหาสมการการลดทอนของ Hata ได้ทำการพัฒนาจากวิธีการของ Okumura เพื่อให้สามารถคำนวณค่าการลดทอนของสัญญาณง่ายขึ้น ถึงแม้ว่ากราฟของ Okumura จะสามารถใช้งานได้จริงในภาคปฏิบัติ และมีประสิทธิภาพสูงเมื่อทำการออกแบบระบบ แต่ยังคงมีความยุ่งยากซับซ้อนในการเขียนโปรแกรมออกแบบระบบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ดังนั้น Hata จึงได้ทำการแก้ไขพารามิเตอร์ต่างๆ จากกราฟให้มาอยู่ในรูปของสมการล็อกการิทึม

$$L(\text{dB}) = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_t - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log d + C_M \quad (3.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย	f	เป็นความถี่ที่ใช้งาน
	d	เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ
	h_t	เป็นความสูงของสายอากาศส่งที่สถานีฐาน
	h_m	เป็นความสูงของสายอากาศส่งที่ตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่
	C_M	มีค่าเท่ากับ 0 dB สำหรับเมืองที่มีขนาดเล็กและบริเวณปริมณฑล และ มีค่าเป็น 3 ภายในตัวเมือง
	$a(h_m)$	เป็นแฟกเตอร์สำหรับแก้ไขค่าความสูงของสายอากาศของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เทียบกับสภาวะพื้นฐานที่เป็นเขตพื้นที่ในเมือง

ในเมืองขนาดเล็กและขนาดกลาง

$$a(h_m) = [1.1 \log f - 0.7] h_m - [1.56 \log f - 0.8] \quad (3.36)$$

ในเมืองขนาดใหญ่

$$a(h_m) = 8.29 [\log(1.54 h_m)]^2 - 1.1 \quad f \leq 200 \text{ MHz} \quad (3.37)$$

$$a(h_m) = 3.2 [\log(11.75 h_m)]^2 - 4.97 \quad f \leq 400 \text{ MHz} \quad (3.38)$$

3.3.3 วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami [21]

วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami เป็นวิธีหาค่าสมการลดทอนที่ใช้อาศัยทั้งการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งรูปแบบของสมการการลดทอนของสัญญาณจะประกอบไปด้วยค่าการลดทอนผ่านสูญญากาศ การลดทอนเนื่องจากการหักเห และการลดทอนเนื่องจากระดับความสูงที่แตกต่างกันระหว่างหลังคาของอาคารสิ่งกีดขวางรอบๆ ตัวเครื่องโทรศัพท์ โดยวิธีการดังกล่าวได้พัฒนามาจากวิธีการของ Walfish-Bertoni [21] และวิธีการของ Ikegami [22] ซึ่งได้มีการทดลองเพิ่มเติมและเปรียบเทียบกับค่าระดับของสัญญาณที่วัดได้จริงในตัวเมือง โดยมีสภาวะเบื้องต้น ดังนี้

- 1) ความถี่อยู่ในช่วง 800 MHz ถึง 2000 MHz
- 2) ความสูงของสายอากาศส่ง (H_t) 4 ถึง 50 เมตร
- 3) ความสูงของสายอากาศรับหรือตัวเครื่องโทรศัพท์ (H_m) 1 ถึง 3 เมตร
- 4) ระยะทาง (d) 0.02 กิโลเมตร ถึง 5 กิโลเมตร
- 5) กำหนดให้ความสูงของหลังคาตึกเป็น H_{roof} มีหน่วยเป็นเมตร
- 6) กำหนดให้ความกว้างของถนนเป็น w มีหน่วยเป็นเมตร
- 7) กำหนดให้ระยะห่างระหว่างตึกเป็น b มีหน่วยเป็นเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) กำหนดให้การจัดเรียงของถนนตามเส้นทางของคลื่นในแนวระดับเป็น ϕ

วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami ประกอบด้วยสมการการลดทอนของสัญญาณใน 2 เส้นทาง คือ เส้นทางการมองเห็นในระดับสายตาและเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวางบดบัง ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณสำหรับเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง จะแสดงดังสมการที่ (3.39)

$$L_b = L_f + L_{rst} + L_{msd} \quad (3.39)$$

โดย L_f เป็นการลดทอนของสัญญาณเมื่อผ่านอากาศ มีค่าดังสมการที่ (3.40)

$$L_f = 32.45 + 20 \log d + 20 \log f \quad (3.40)$$

L_{rst} เป็นการลดทอนของสัญญาณจากการหักเหและการกระเจิงจากหลังคาตึก

$$L_{rst} = -16.9 - 10 \log w + 10 \log f + 20 \log (H_r - H_{m0}) + L_{cri} \quad (3.41)$$

L_{cri} เป็นการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการจัดเรียงของถนน

$$L_{cri} = -10 + 0.35 \phi \quad 0 \leq \phi \leq 35 \text{ องศา} \quad (3.42)$$

$$L_{cri} = 205 + 0.075(\phi - 35) \quad 35 \leq \phi \leq 55 \text{ องศา} \quad (3.43)$$

$$L_{cri} = 4 + 0.114(\phi - 55) \quad 55 \leq \phi \leq 90 \text{ องศา} \quad (3.44)$$

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

$$L_{msd} = L_{hsh} + k_a + k_d \log d + k_f \log f - 9 \log b \quad (3.45)$$

$$L_{hsh} = -18 \log (1 + H_b - H_{roof}) \quad H_b > H_{roof} \quad (3.46)$$

$$L_{hsh} = 0 \quad H_b \leq H_{roof} \quad (3.47)$$

$$k_a = 54 \quad H_b > H_{roof} \quad (3.48)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$k_a = 54 - 0.8(H_b - H_{roof}) \quad d \geq 0.5 \text{ และ } H_b \leq H_{roof} \quad (3.49)$$

$$k_a = 54 - 0.8(H_b - H_{roof})(d/0.5) \quad d < 0.5 \text{ และ } H_b \leq H_{roof} \quad (3.50)$$

$$k_d = 18 \quad H_b > H_{roof} \quad (3.51)$$

$$k_d = 18 - 15(H_b - H_{roof})/H_{roof} \quad H_b \leq H_{roof} \quad (3.52)$$

สำหรับตัวเมืองขนาดเล็กและบริเวณศูนย์กลางปริมาตรที่มีต้นไม้พ้อประมาณ

$$k_f = -4 + 0.7\left(\frac{f}{925} - 1\right) \quad (3.53)$$

สำหรับศูนย์กลางของตัวเมือง

$$k_f = -4 + 1.5\left(\frac{f}{925} - 1\right) \quad (3.54)$$

ในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา จะมีสมการการลดทอนของสัญญาณ ดังนี้

$$L_{LOS} = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f \quad (3.55)$$

3.3.4 วิธีการ Log-Distance Path Loss [23,24]

การหาค่าสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น ด้วยวิธี Log-Distance Path Loss จะสามารถทำได้ด้วยการวัดระดับกำลังงานของสัญญาณเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละจุดเทียบกับระยะทางในพื้นที่ต่าง ๆ แล้วหาค่าระดับกำลังงานของสัญญาณที่มีการลดลง หรือค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางในลักษณะของฟังก์ชันเชิงเส้นด้วยการใช้สเกลล็อกการที่ม (Log-normal distribution) ในหน่วย dB โดยกำลังของ d ที่ลำดับ n จะมีความสัมพันธ์ที่อ้างอิงกับระยะทาง d_0 ซึ่งก็คือรัศมีการแพร่กระจายคลื่น โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 กิโลเมตรสำหรับมาโครเซลล์, 100 เมตร สำหรับไมโครเซลล์ และ 1 เมตรสำหรับเซลล์ที่ติดตั้งภายในอาคาร โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นและระยะทาง จะแสดงได้ดังนี้

$$\overline{L}_p(d) = \frac{d^n}{d_0^n} \quad (3.56)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{L}_p(d) = L_s(d_o) + 10n \log \left(\frac{d}{d_o} \right) \quad (3.57)$$

$$L_s(d_o) = \left(\frac{4\pi d_o}{\lambda} \right)^2 \quad (3.58)$$

โดย $\bar{L}_p(d)$ คือ ค่าสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณที่ระยะทางใดๆ มีหน่วยเป็นเดซิเบล $L_s(d_o)$ คือ การสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณที่ระยะทางอ้างอิง (d_o) และค่า n คือ ค่าความชันของการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณ ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันออกไปตามสภาพแวดล้อมของการแพร่กระจายคลื่น



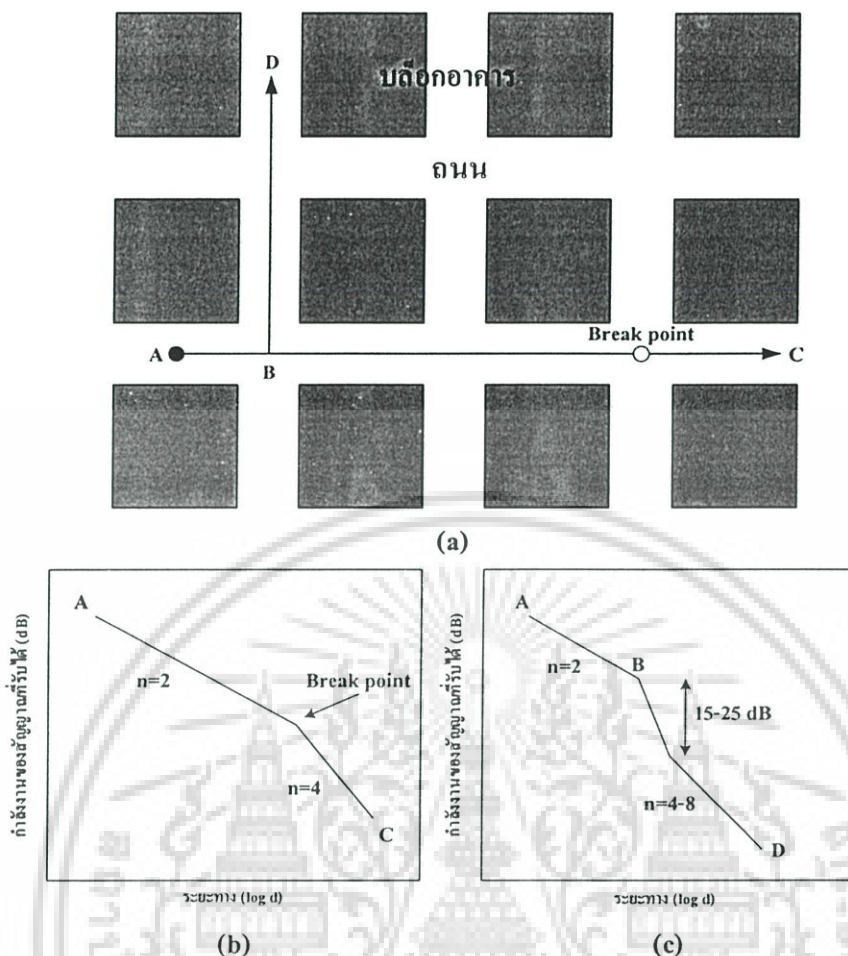
วิธีการที่นำเสนอและผลการทดลอง

การให้บริการของระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT) ในพื้นที่เขตเมืองที่มีปริมาณการใช้งานสูงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นนั้น กำลังงานที่เครื่องลูกข่ายสามารถรับได้จากแต่ละสถานีเซลล์ ควรจะมีระดับที่เพียงพอเพื่อให้มีการใช้งานเป็นไปอย่างต่อเนื่องและสามารถที่จะแฮนด์โอเวอร์ระหว่างสถานีเซลล์ที่เครื่องลูกข่ายสามารถจับใช้งานในพื้นที่นั้นได้ ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณของสถานีเซลล์จะต้องพิจารณากำลังงานของสัญญาณที่แพร่กระจายในพื้นที่สถานีเซลล์ของโทรศัพท์ระบบ PCT นั้นจะเป็นแบบไมโครเซลล์ โดยมีรัศมีของพื้นที่บริการในกรณีที่ใช้งานในพื้นที่สาธารณะประมาณ 50-300 เมตร ขึ้นอยู่กับชนิดของสถานีเซลล์ [1] ในพื้นที่เขตเมืองนั้น สิ่งแวดล้อมต่างๆ ส่วนมากจะเป็นตัวอาคารที่อยู่บริเวณสองข้างถนน การแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์นั้นจะต้องมีการแพร่กระจายไปตามเส้นทางในระดับแนวสายตา (Line-of-Sight: LOS) และเส้นทางในระดับแนวนอกสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS) เนื่องจากตัวอาคารทำให้เกิดการบดบังการแพร่กระจายคลื่นในถนนหลังจากมุมเงี้ยวของตัวอาคารหรือเป็นเส้นทาง NLOS คลื่นที่สามารถเดินทางใน NLOS นั้นจะเกิดจากการสะท้อนกับสิ่งแวดล้อมบริเวณเส้นทาง LOS แล้วเลี้ยวเบนเข้าไปยังเส้นทาง NLOS และถ้ามีอาคารอยู่บริเวณสองข้างในเส้นทาง NLOS ก็จะทำให้เส้นทางของคลื่นสะท้อนไปมาระหว่างตัวอาคารด้วย ซึ่งจะทำให้การเดินทางของคลื่นมีระยะเพิ่มมากขึ้นตามการสะท้อนซึ่งจะส่งผลให้ค่าลดทอนของสัญญาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการคำนวณหาพื้นที่ครอบคลุมของสถานีเซลล์เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการได้ทั้งในกรณีของ LOS และ NLOS ควรใช้วิธีการที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอทฤษฎีในการคำนวณค่าลดทอนที่มีอยู่แล้วมาช่วยในการพิจารณาปรับปรุงประสิทธิภาพสถานีเซลล์

4.1 รูปแบบเส้นทางบนถนนไมโครเซลล์ [25]

การศึกษาเรื่องการแพร่กระจายคลื่นบนเส้นทางไมโครเซลล์นั้นจะสมมุติให้ถนนเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีจุดตัดกันด้วยบล็อกของอาคารดังรูปที่ 4.1 (a)

จากรูปที่ 4.1 (b) นั้นจะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟ มีสองความชันที่ต่างกันโดยหลังจากจุดเปลี่ยนแปลง (Breakpoint) Path Loss ใน Free Space ค่า n จะมีค่าประมาณ 4 ส่วนรูปที่ 4.1 (c) เมื่อเครื่องรับตรงมุมจากถนนเส้นทาง LOS ไปยังเส้นทาง NLOS แล้วกำลังงานที่รับได้จะลดลงอย่างทันทีทันใดที่ค่าประมาณ 15-25 dB ซึ่งค่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อความกว้างของถนนและระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับต่างๆ กัน



รูปที่ 4.1 (a) รูปแบบของถนนไมโครเซลล์ในเขตพื้นที่เมือง
 (b) ลักษณะกราฟ Path Loss บนเส้นทาง LOS
 (c) ลักษณะกราฟ Path Loss บนเส้นทาง NLOS

4.2 การวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทาง LOS และ NLOS

การแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องรับนั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทาง LOS และการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทาง NLOS

4.2.1 การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวสายตา (Line-of-Sight: LOS) [23]

การหาค่าสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่นใน LOS จะใช้วิธีการ Log-Distance Path Loss ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการวัดระดับกำลังงานของสัญญาณเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละจุดเทียบกับระยะทางในพื้นที่ต่างๆ แล้วหาค่าระดับกำลังงานของสัญญาณที่มีการลดลง หรือค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางในลักษณะของฟังก์ชันเชิงเส้นด้วยการใช้สเกลล็อกการที่ม (Log-normal distribution) ในหน่วยเดซิเบล โดยกำหนดให้ค่าสูญเสียในเส้นทางเฉลี่ย ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ d แปรผันตามสัดส่วนระหว่าง d กับระยะทางอ้างอิง d_0 ยกกำลัง n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_p(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \quad (4.1)$$

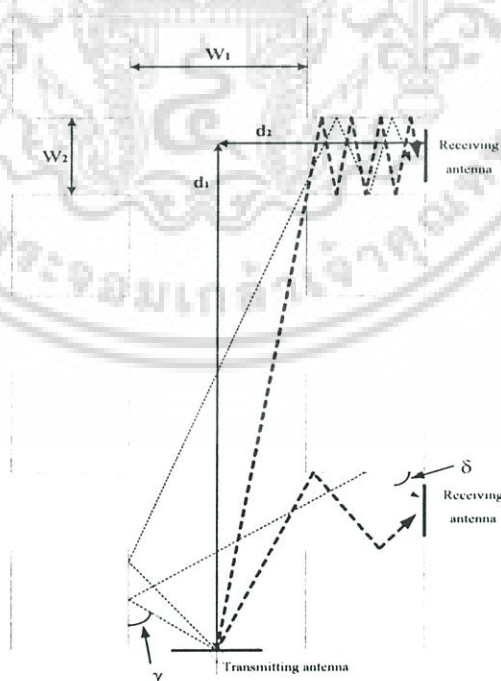
ซึ่งจะเขียนในรูปแบบของเคซิเบลดังนี้

$$L_p(d) = L_s(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (4.2)$$

ระยะทางอ้างอิง d_0 นั้นจะเป็นจุดที่ไกลออกไปจากสายอากาศ ซึ่งค่า d_0 นั้นจะมีค่าเท่ากับ 1 กิโลเมตรสำหรับมาโครเซลล์, 100 เมตร สำหรับไมโครเซลล์ และ 1 เมตรสำหรับเซลล์ที่ติดตั้งภายในอาคาร สำหรับค่าของ n จะมีค่าเท่ากับ 2 ในกรณีที่เกิดการแพร่กระจายในอากาศว่าง (free space)

$$L_s(d_0) = 20 \log \frac{4\pi d_0}{\lambda} \quad (4.3)$$

ในกรณีของ LOS ค่าการสูญเสีย $L_s(d_0)$ ที่ระยะทางอ้างอิง d_0 แสดงตามสมการที่ (4.3) โดยที่ λ คือค่าความยาวคลื่นที่ใช้งาน



รูปที่ 4.2 แบบจำลองเส้นทางของคลื่นที่เดินทางใน NLOS จากการสะท้อนอาคาร

ในเส้นทาง LOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับนอกแนวสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS)[26]

การสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทาง NLOS ของไมโครเซลล์ เนื่องมาจากอาคารต่างๆ ที่อยู่ในบริเวณเส้นทางการเดินทางของคลื่น ทำให้คลื่นที่เดินทางในแนว LOS ตามระยะทาง d_1 สะท้อนกับผนังของอาคารแล้วเลี้ยวเบนไปตามแนว NLOS ในระยะทาง d_2 ดังแสดงในรูปที่ 4.2

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \frac{R^2}{D^2} \quad (4.4)$$

ค่ากำลังงานที่รับได้ จากเส้นทางของคลื่นหนึ่งเส้นทางที่เดินทางในระยะทาง d_2 จะหาได้จากสมการที่ (4.4) โดยที่ค่าของ R คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนรวมทั้งหมดของหนึ่งเส้นทางคลื่น

$$R = R^N(\gamma) R^M(\delta) \quad (4.5)$$

สำหรับสนามไฟฟ้าที่ตั้งฉากกับแนวศกกระทบ

$$R(\phi) = \frac{\sin(\phi) - \sqrt{\epsilon - \cos^2(\phi)}}{\sin(\phi) + \sqrt{\epsilon - \cos^2(\phi)}}, \quad \phi = \gamma \cdot \delta \quad (4.6a)$$

โดยที่

$$\epsilon = \epsilon_r - j60\sigma\lambda \quad (4.6b)$$

สมการ (4.4) ถึง (4.6) ใช้สำหรับเส้นทางของคลื่นหนึ่งเส้นทาง ค่าของ R_i, D_i โดย $i = 1 \dots k$ (k คือจำนวนเส้นทางของคลื่น) จะเปลี่ยนไป ตาม N, M, γ, δ ของเส้นทางนั้นๆ โดยในที่นี้

γ คือ มุมที่สะท้อนระหว่างเส้นทางของคลื่นกับพื้นผิวที่สะท้อนในเส้นทาง LOS

δ คือ มุมที่สะท้อนระหว่างเส้นทางของคลื่นกับพื้นผิวที่สะท้อนในเส้นทาง NLOS

N คือ จำนวนครั้งของการสะท้อนในเส้นทาง LOS

M คือ จำนวนครั้งของการสะท้อนในเส้นทาง NLOS

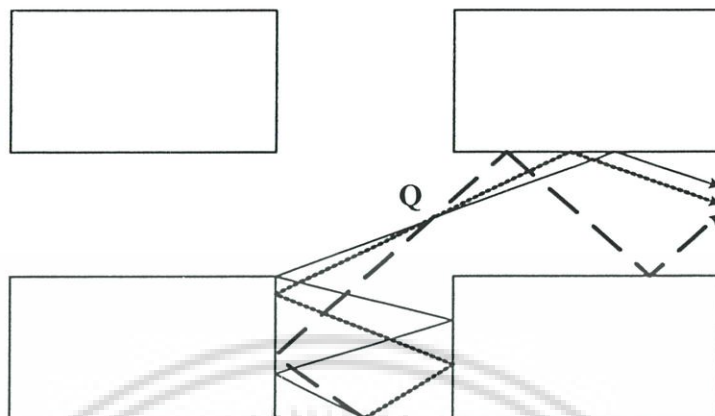
D คือ ระยะเส้นทางของคลื่น

P_t คือ กำลังงานของเครื่องส่ง

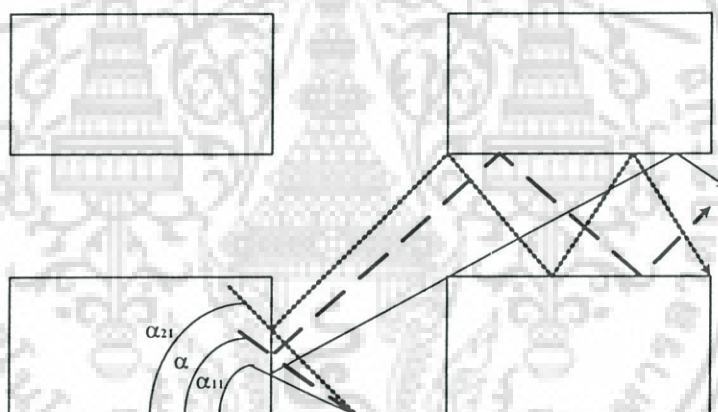
P_r คือ กำลังงานที่รับได้ที่เครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ϵ_r คือ สภาพยอมสัมพัทธ์ของตัวสะท้อนคลื่น
 σ คือ สภาพนำของตัวสะท้อนคลื่น (simen/meter)



รูปที่ 4.3 เส้นทางของคลื่นที่ผ่านจุด Q



รูปที่ 4.4 มุมสะท้อน α_{21} และ α_{11}

ในการทำแบบจำลองเส้นทางของคลื่นที่เข้าไปยังเส้นทาง NLOS ให้ง่ายขึ้น จากรูปที่ 4.3 จุด Q คือ ตัวอย่างจุดที่เส้นทางของคลื่นรวมกันก่อนมุมเลี้ยวแล้วผ่านเข้าไปยังเส้นทาง NLOS โดยที่รูปที่ 4.4 จะแสดงตัวอย่างมุม α_{21}, α_{11} ซึ่งเป็นมุมที่มากที่สุดและน้อยที่สุดที่สะท้อนในเส้นทาง d_1 เพียงครั้งเดียวแล้วเข้าไปยังเส้นทาง NLOS ตามลำดับ และมุม α เป็นมุมสะท้อนของเส้นทางของคลื่นที่ผ่านจุด Q ซึ่งคาดหมายว่าเส้นทางของคลื่นเหล่านั้นจะไปถึงยังเครื่องรับ ระยะทางและมุมตกกระทบของเส้นทางคลื่นที่ผ่านจุด Q ซึ่งแพร่กระจายตามเส้นทาง NLOS จะประมาณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ ϕ_i โดย α_{21}, α_{11} เป็นมุมที่มากที่สุดและน้อยที่สุดของเส้นทางของคลื่นที่ผ่านจุด Q

$$\varphi_i = \frac{\alpha_{2i} - \alpha_{1i}}{\pi}, \quad i=1,2,\dots,k \quad (4.7)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ φ_i คือสัดส่วนของจำนวนเส้นทางของคลื่นที่เข้าไปยังเส้นทาง NLOS โดยที่ $\varphi_i \leq 1$ ค่าสัมประสิทธิ์เดียวกันใช้คำนวณแต่ละเส้นทางของคลื่นที่ผ่านจุด Q สำหรับเส้นทางของคลื่นที่ไม่สะท้อนใน LOS $\varphi_i = 1$ สมการค่าสูญเสียเฉลี่ย L_r สำหรับแบบจำลองเส้นทาง NLOS คือ

$$L_r = \left| 10 \log_{10} \left\{ \sum_{i=1}^k \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \frac{R_i^2}{D_i^2} \varphi_i \right\} \right|, \quad \varphi_i \leq 1 \quad (4.8)$$

เมื่อเครื่องรับเคลื่อนที่ไปตามเส้นทาง NLOS สมการของค่าสูญเสียเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

$$L_o = L_F + A + (10B) \log_{10} \left(\frac{d_2 + d_1}{d_1} \right) \quad (4.9)$$

โดยค่า L_F สามารถคำนวณได้จากสมการการแพร่กระจายคลื่นในอวกาศว่าง (free space) คือ

$$L_F = \left| 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi d_1} \right) \right| \quad (4.10)$$

ในที่นี้

L_o คือ ค่าสูญเสียตลอดเฉลี่ยเส้นทาง NLOS

A คือ ค่าลดทอนจากมุมอาคารหาได้จากค่า L_r

$A = L_r$ (หลังจากมุมเดี่ยวของอาคาร) $- L_r$ (ก่อนมุมเดี่ยวของอาคาร)

B คือ ค่าความชันในเส้นทาง NLOS

d_1 คือ ระยะทางจากสถานีเซลล์ถึงมุมเดี่ยว

d_2 คือ ระยะทางตามเส้นทาง NLOS

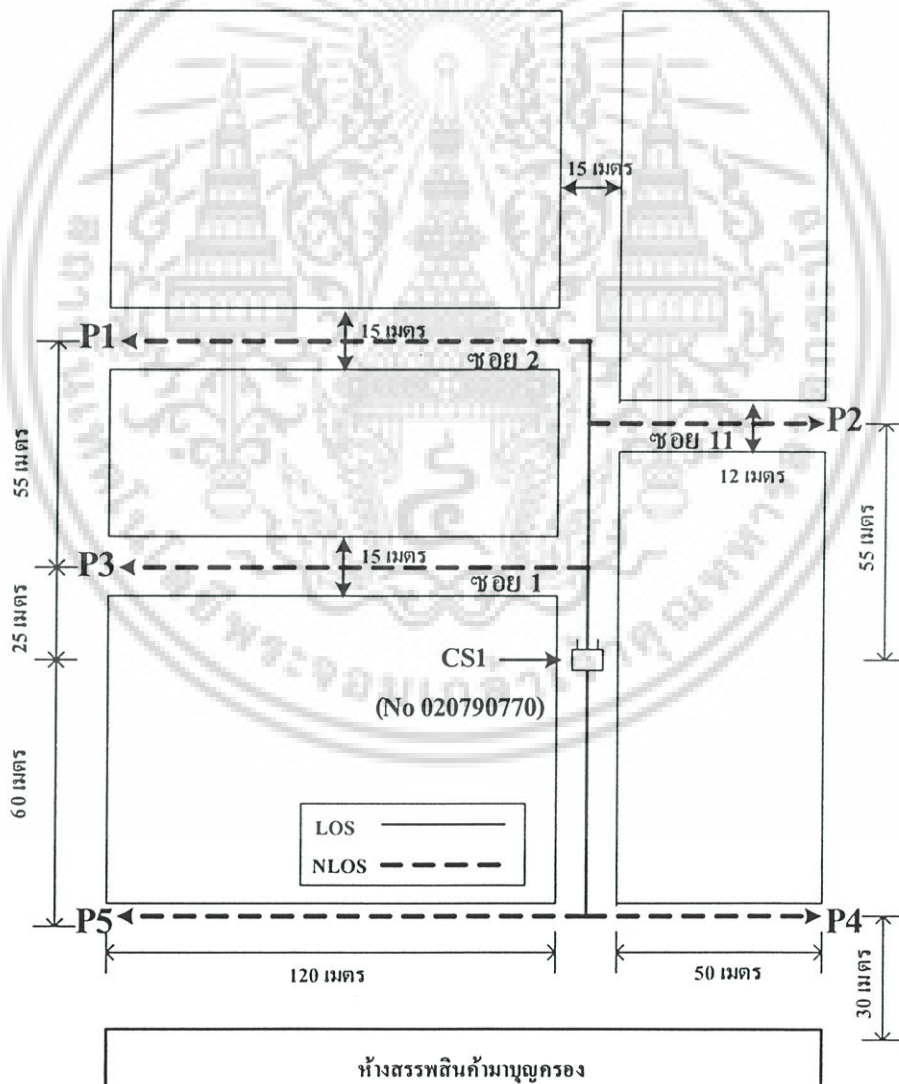
k คือ จำนวนเส้นทางของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้จะใช้บริเวณพื้นที่ของสยามสแควร์ โดยมีเส้นทางการทดสอบตามรูปที่ 4.5 และ 4.11 ทำการวัดสัญญาณสถานีเซลล์ขนาดกำลังส่ง 20 mW ที่ใช้สายอากาศแบบ omni directional เกิน 4 dBi 2 ตัว คือ CS1 หมายเลข 020790770 และ CS2 หมายเลข 020790750 โดยใช้เครื่องมือวัดสัญญาณระบบ PHS วัดระดับสัญญาณจากช่องสัญญาณควบคุม (Control Channel: CCH) ช่องที่ 75 ความถี่ 1917.35 MHz [1] ในทุกๆ 1 เมตร

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาข้อมูลระดับสัญญาณที่ได้จาก 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาที่มีปริมาณผู้คนค่อนข้างน้อย (เก็บข้อมูลช่วงเวลาประมาณ 06.00 น. ถึง 09.00 น.) และช่วงเวลาที่มียปริมาณผู้คนหนาแน่น (เก็บข้อมูลช่วงเวลาประมาณ 12.00 น. ถึง 16.00 น.) เพื่อใช้พิจารณาว่าปริมาณของผู้คนในพื้นที่ส่งผลกับการแพร่กระจายคลื่นในพื้นที่หรือไม่



รูปที่ 4.5 เส้นทางการทดสอบ CS1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการพล็อตกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการวัดกับผลที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ (4.2) ในกรณีเส้นทาง LOS และสมการที่ (4.5) ถึง (4.10) ในกรณีเส้นทาง NLOS

สำหรับเส้นทางในการทดสอบ CSI ที่แสดงในรูปที่ 4.5 นั้น เส้นทาง P1 มีระยะทาง $d_1 = 80$ เมตร, $d_2 = 60$ เมตร เส้นทาง P2 มีระยะทาง $d_1 = 55$ เมตร, $d_2 = 50$ เมตร เส้นทาง P3 มีระยะทาง $d_1 = 25$ เมตร, $d_2 = 90$ เมตร เส้นทาง P4 มีระยะทาง $d_1 = 60$ เมตร, $d_2 = 50$ เมตร และเส้นทาง P5 มีระยะทาง $d_1 = 60$ เมตร, $d_2 = 70$ เมตร

การคำนวณค่าสูญเสียของสัญญาณในสมการที่ (4.2) กรณีเส้นทาง LOS (d_i) นั้น จะใช้ค่า $d_0 = 100$ เมตร เพิ่มค่า d ครั้งละ 1 เมตร ตามระยะทาง LOS ของแต่ละเส้นทาง และใช้ค่าความถี่ 1917.35 MHz

การคำนวณในสมการที่ (4.5)-(4.8) กรณีเส้นทาง NLOS (d_i) นั้น จะใช้ค่า $\epsilon_r = 3$ [27], ค่า $\sigma = 100$ (สำหรับอาคาร $\sigma \gg 1$) [28] ความถี่ใช้ที่ 1917.350 MHz และค่าตัวแปรต่างๆ ตามตารางที่ 4.1 ซึ่งได้มาจากการสร้างแบบจำลองในกระดาศกราฟโดยจะได้เส้นทางของคลื่นที่เดินทางตามเส้นทางในรูปที่ 4.5 จำนวน 2 เส้นทาง (Ray No.1,2)

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณค่าการสูญเสียใน NLOS ของ CSI

Ray No.	เส้นทาง P1		เส้นทาง P2		เส้นทาง P3		เส้นทาง P4		เส้นทาง P5	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
γ	0°	15°	0°	22°	0°	40°	0°	15°	0°	15°
δ	85°	75°	81°	67°	75°	50°	84°	75°	84°	75°
N	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
M	28	13	32	9	11	3	16	6	16	6
D	507 m	277 m	447 m	183 m	224 m	110 m	570 m	273 m	570 m	273 m
ϕ_i	1	0.0167	1	0.3722	1	0.1166	1	0.0388	1	0.0388

ตารางที่ 4.2 ค่าลดทอนจากมุมอาคารที่คำนวณได้แต่ละเส้นทางทดสอบของ CSI

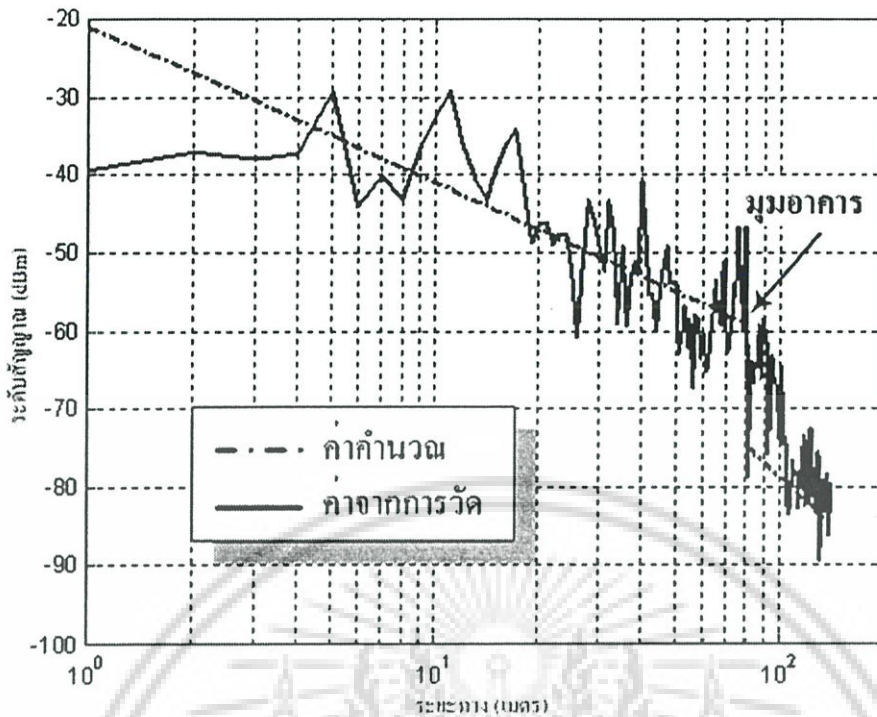
เส้นทาง	L_r (หลังมุมเลี้ยว)	L_r (ก่อนมุมเลี้ยว)	A
P1	32.4610 dB	16.82 dB	15.6410 dB
P2	26.3093 dB	11.043 dB	15.2663 dB
P3	23.5376 dB	6.1 dB	17.4376 dB
P4	32.8022 dB	15.7734 dB	17.03 dB
P5	32.8022 dB	15.7734 dB	17.03 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

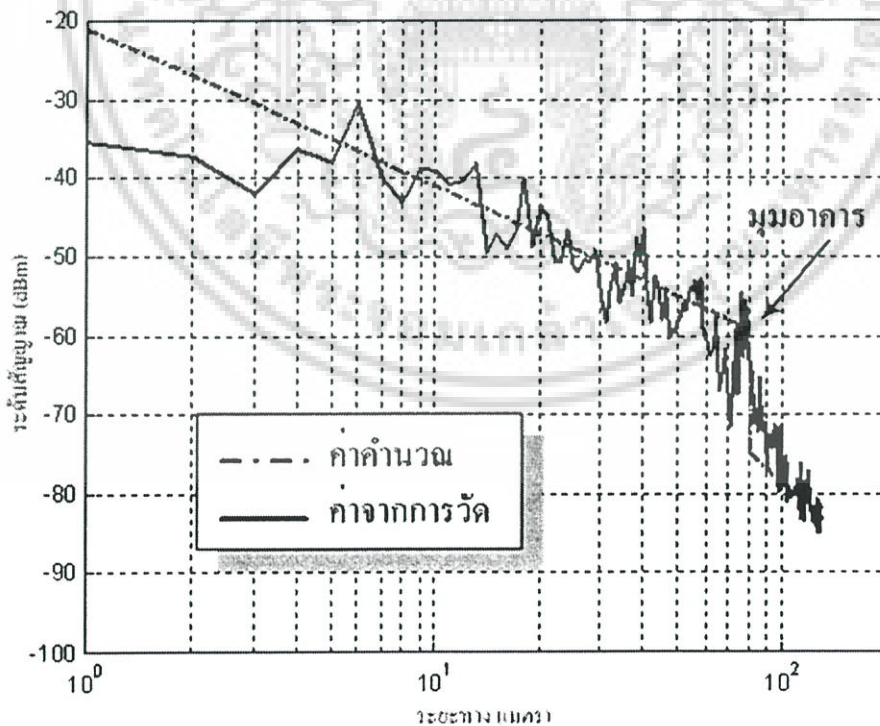
จากผลการคำนวณที่ได้จากตารางที่ 4.2 ค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS (L_r (หลังมุมเงี้ยว)) ในเส้นทาง P4 และ P5 จะมีค่าเท่ากัน เนื่องจากมีระยะทาง d , ความกว้างของถนนใน LOS (W_1) และ NLOS (W_2) เท่ากัน ทำให้เส้นทางของคลื่นที่สะท้อนใน LOS และ NLOS มีลักษณะเหมือนกัน ดังนั้นค่าตัวแปรต่างๆ จึงมีค่าเท่ากันด้วย ค่าสูญเสียใน NLOS ของเส้นทาง P4 และ P5 ยังจะมีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นทางอื่น นั่นเป็นเพราะว่าทั้งสองเส้นทางนี้มีค่าความกว้างของถนนใน NLOS กว้างที่สุด ทำให้เส้นทางคลื่นที่สะท้อนระหว่างตัวอาคารสองข้างถนนเดินทางด้วยระยะทางที่ไกล ซึ่งจะส่งผลให้ค่าการสูญเสียเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับเส้นทาง P1, P2 และ P3 นั้น ค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS (L_r (หลังมุมเงี้ยว)) ของเส้นทาง P1 เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นทาง P2, P3 จะมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากมีระยะทางของ d , ไกลกว่าเส้นทาง P2 และ P3 ทำให้เส้นทางของคลื่นสะท้อนกับตัวอาคารในเส้นทาง NLOS มีมุม θ ที่กว้างกว่า ส่งผลให้จำนวนครั้งในการสะท้อนมาก (ดูจากตัวอย่างรูปที่ 4.2) การเดินทางของคลื่นใน NLOS จึงมีระยะทางเพิ่มมากขึ้นเมื่อรวมกับที่เดินทางใน LOS ค่าของ D จึงมากขึ้น ทำให้เกิดค่าสูญเสียสูงขึ้นไปด้วย ซึ่งจะเป็กรณีเดียวกันกับเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นทาง P2 กับ P3 ที่ค่า L_r (หลังมุมเงี้ยว) ของ P2 ($d_r = 55$ เมตร) สูงกว่า P3 ($d_r = 25$ เมตร) แต่จากตารางที่ 4.1 ค่า M เส้นทางของคลื่นเส้นที่ 1 (Ray No.1) ในเส้นทาง P2 มากกว่าเส้นทาง P1 โดยที่ d_r ไกลกว่าเป็นเพราะว่าระยะความกว้างถนน W_2 แคบกว่าทำให้เกิดจำนวนครั้งในการสะท้อนกับอาคารในเส้นทาง NLOS มาก แต่เมื่อรวมระยะเส้นทางของคลื่นจาก LOS แล้วค่า D ในเส้นทาง P1 ก็ยังคงมากกว่า ดังนั้นจึงทำให้ L_r (หลังมุมเงี้ยว) ของ P1 สูงกว่า P2

ค่าการลดทอนจากมุมอาคาร A ในตารางที่ 4.2 จะเป็นผลต่างระหว่าง L_r (หลังมุมเงี้ยว) กับ L_r (ก่อนมุมเงี้ยว) โดยที่ค่าสูญเสีย L_r (ก่อนมุมเงี้ยว) จะคำนวณที่ตำแหน่งของเส้นทางของคลื่น 2 เส้นทางรวมกันก่อนมุมเงี้ยวของอาคาร (จุด Q ตามตัวอย่างรูปที่ 4.3) ของแต่ละเส้นทาง ดังนั้นค่าของ A จะมีค่าเป็นเช่นไรจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของผลต่างในแต่ละเส้นทาง ซึ่งในเส้นทาง P2 จะมีค่าสูงที่สุดเนื่องมาจากผลต่างมีค่ามาก

นำค่า A ที่ได้จากตารางที่ 4.2 มาคำนวณหาค่า L_r ตามสมการที่ (4.9) โดยใช้ค่าสโลป $B = 4$ [25] เพื่อพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงในเส้นทาง NLOS

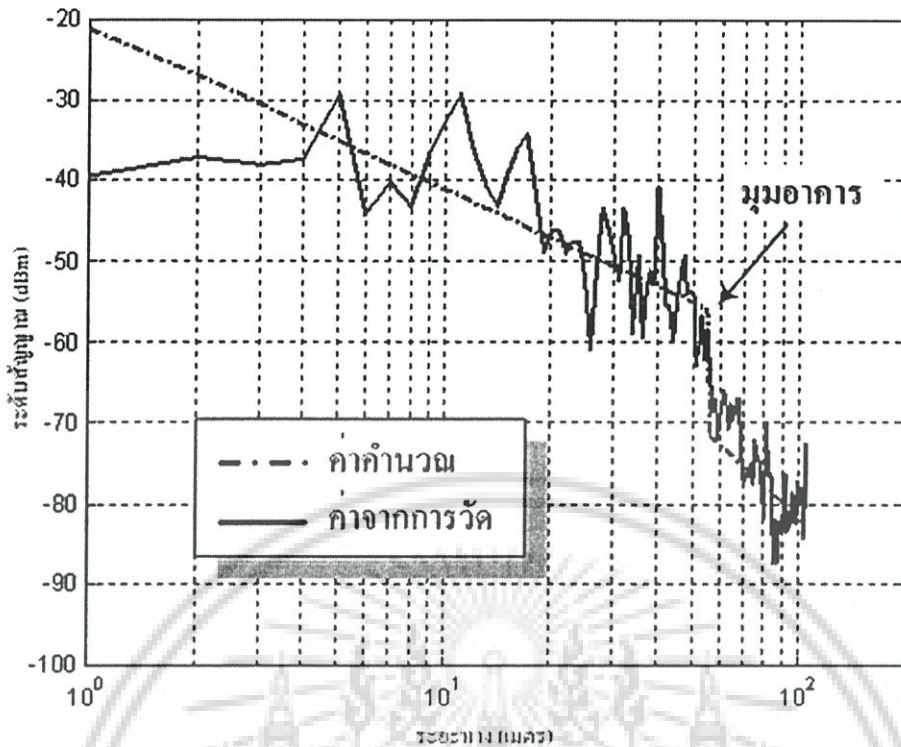


รูปที่ 4.6 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)
ในเส้นทาง P1 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.

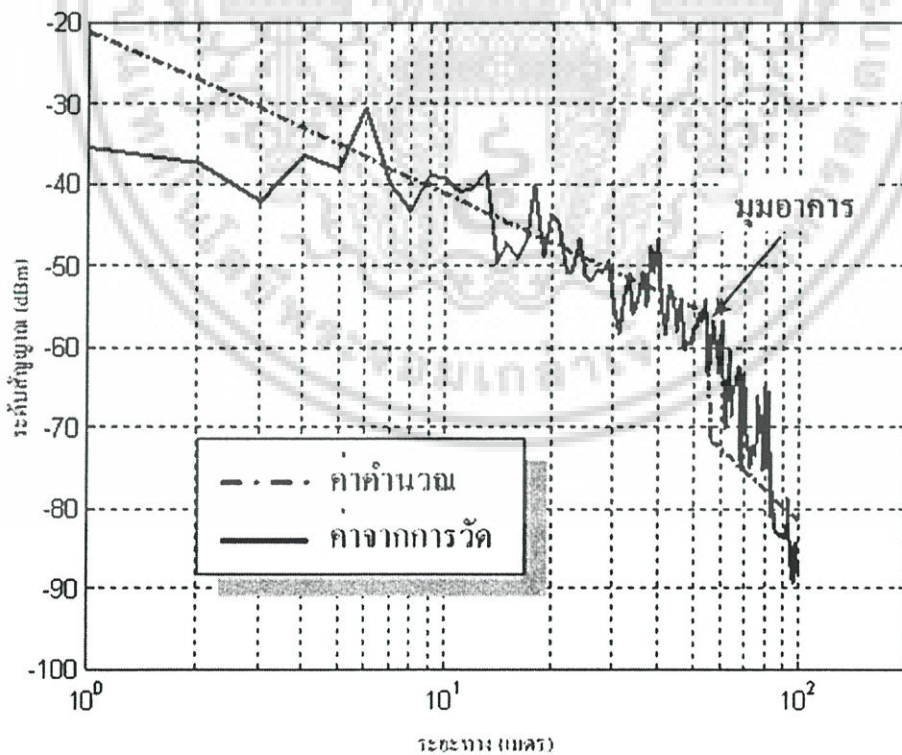


รูปที่ 4.7 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)
ในเส้นทาง P1 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00 น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

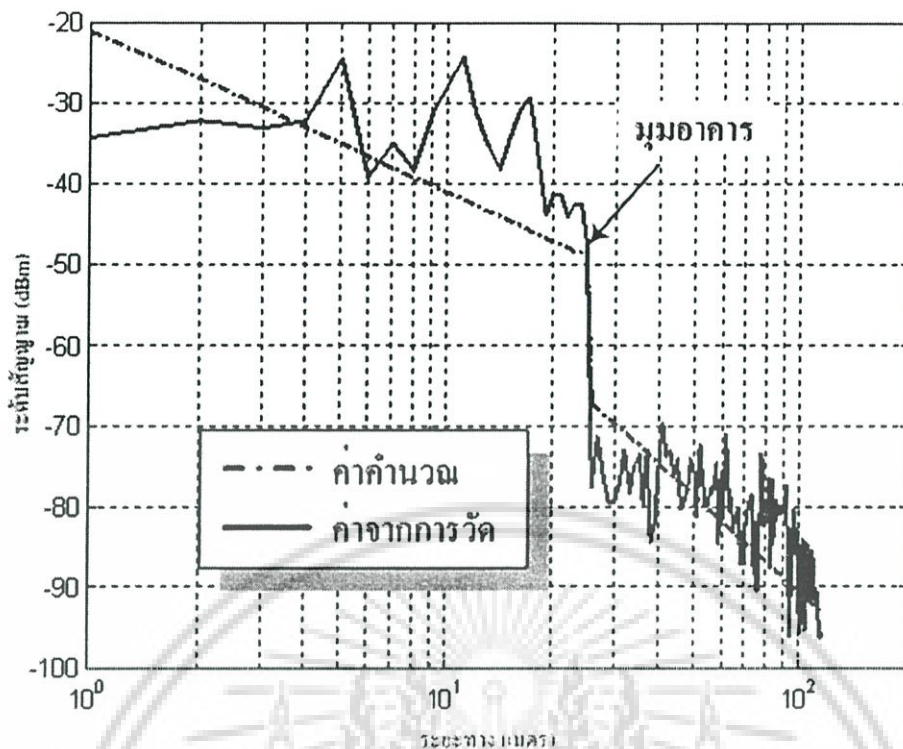


รูปที่ 4.8 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)
ในเส้นทาง P2 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.



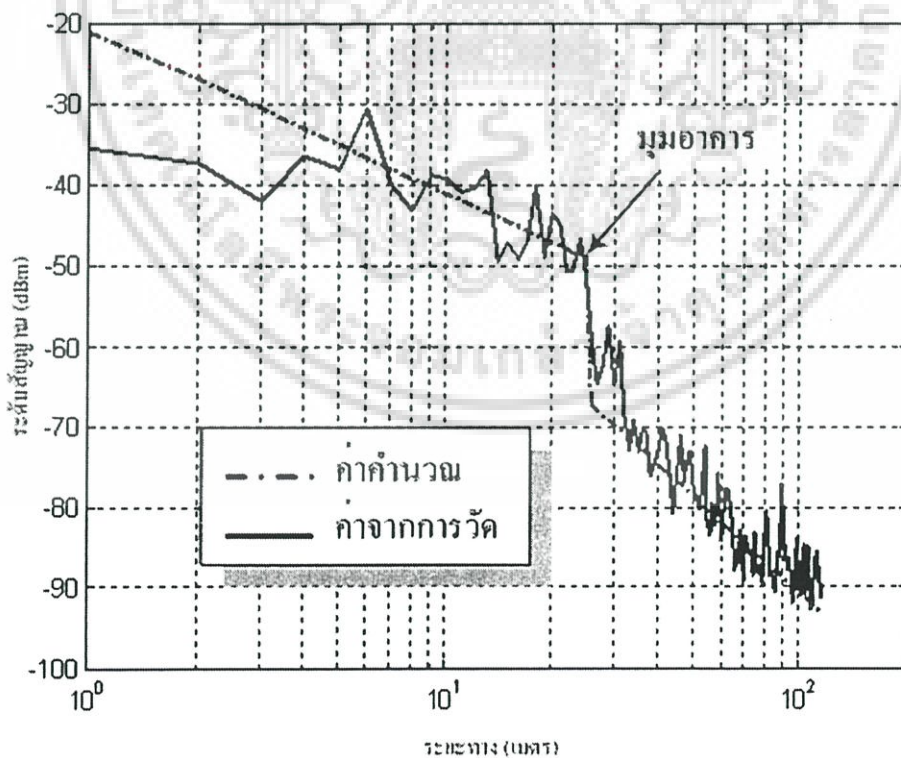
รูปที่ 4.9 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)
ในเส้นทาง P2 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)

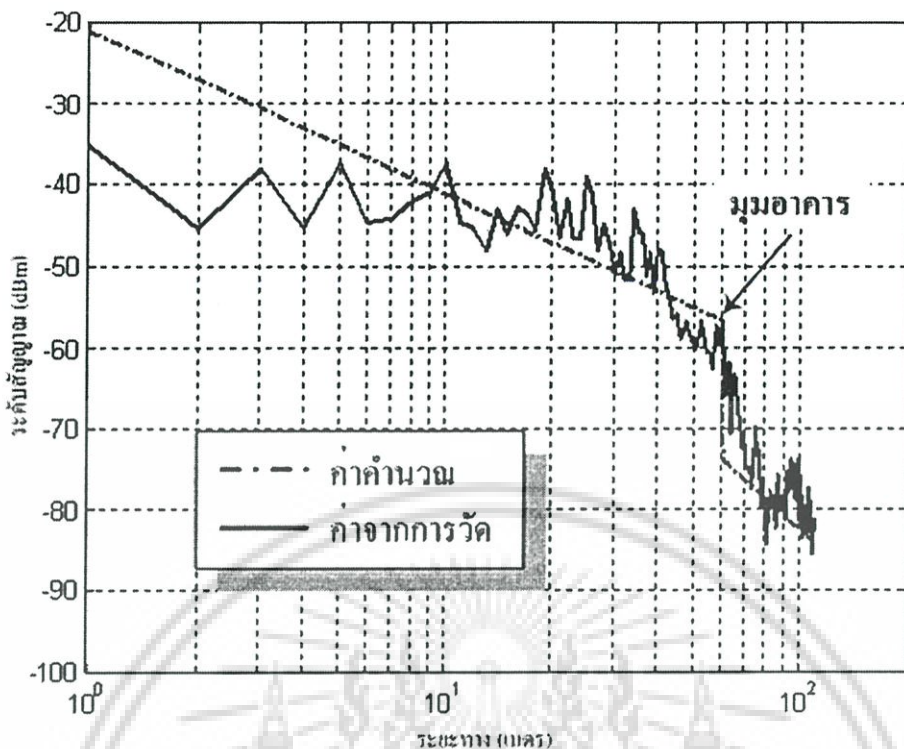
ในเส้นทาง P3 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.



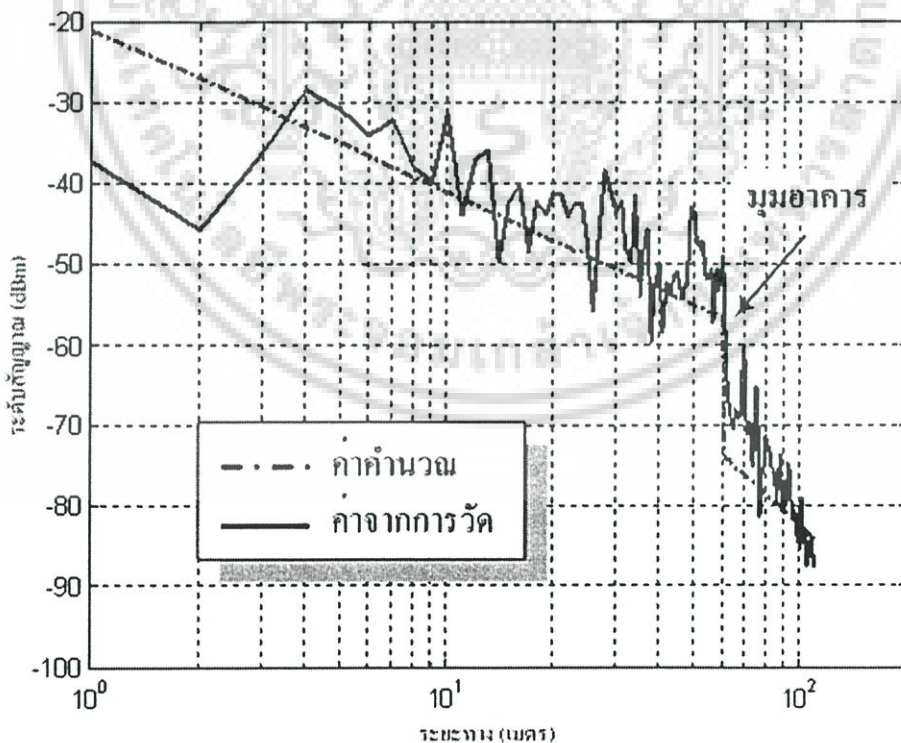
รูปที่ 4.11 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)

ในเส้นทาง P3 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

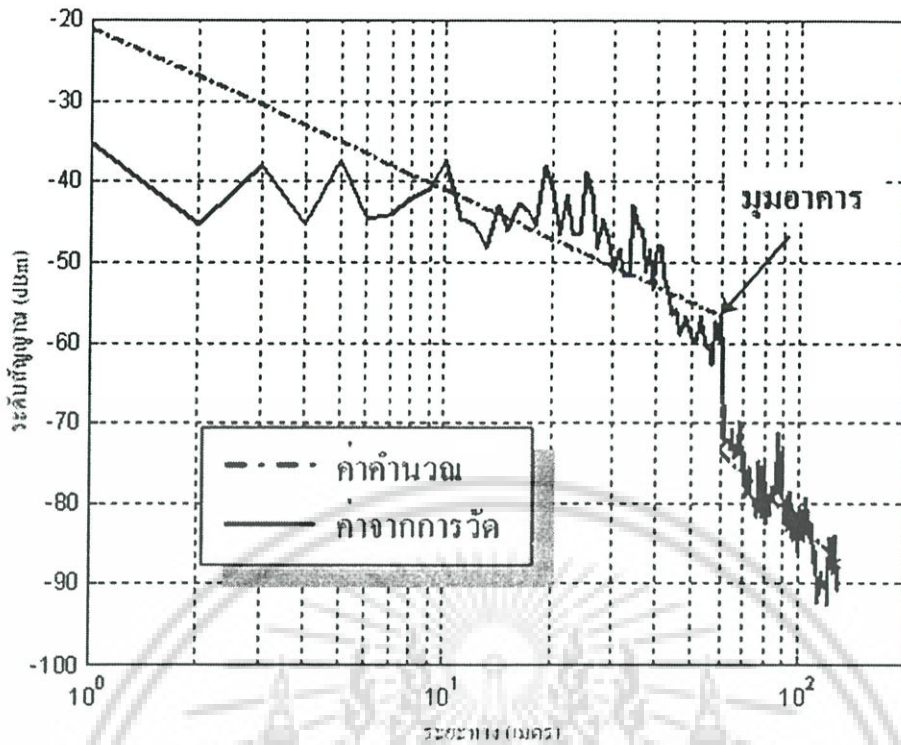


รูปที่ 4.12 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)
ในเส้นทาง P4 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.

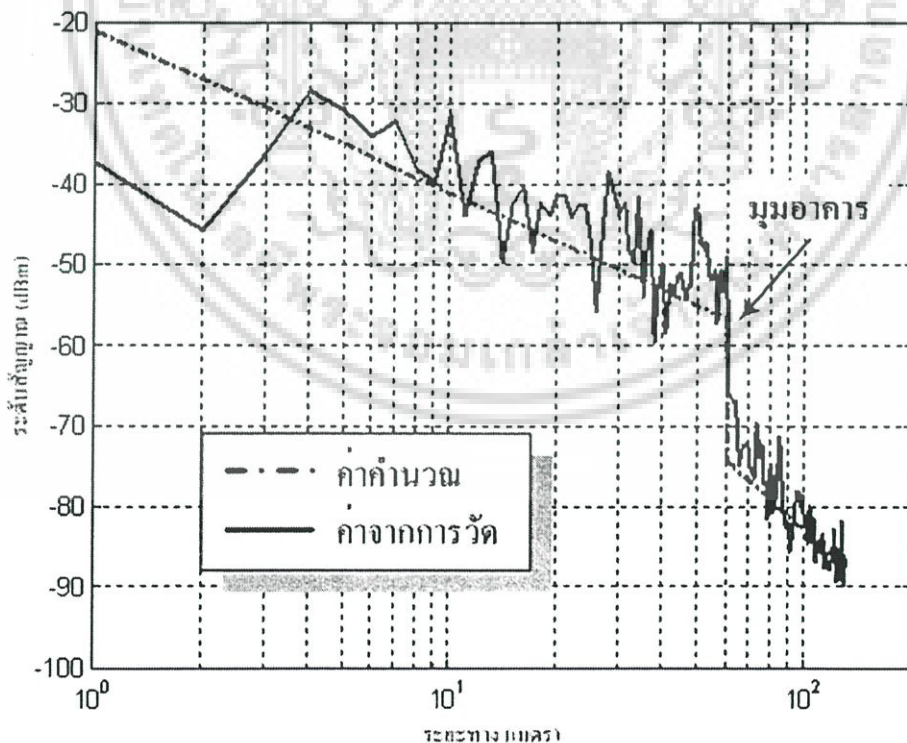


รูปที่ 4.13 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)
ในเส้นทาง P4 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)
ในเส้นทาง P5 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.



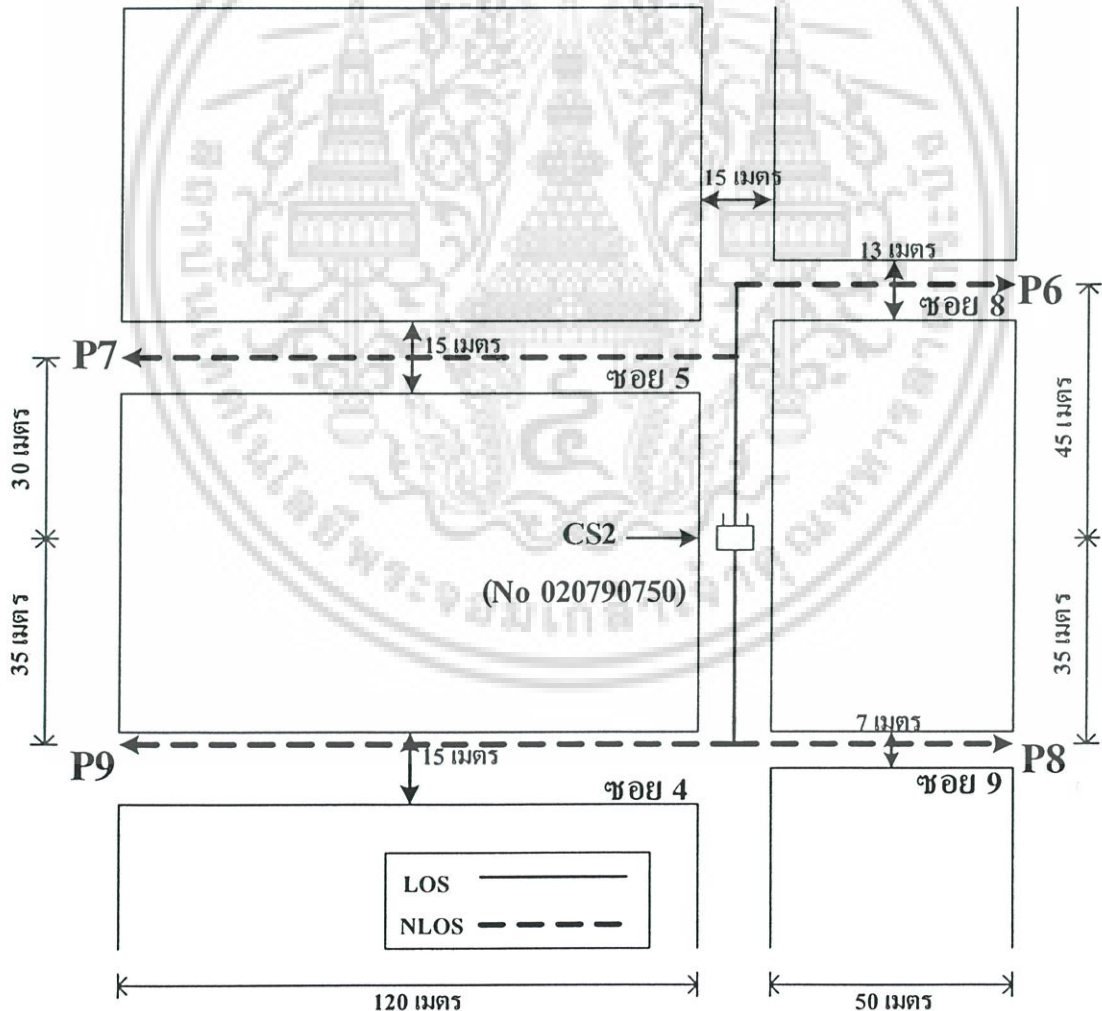
รูปที่ 4.15 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)
ในเส้นทาง P5 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นทางการทดสอบ CS2 จะแสดงในรูปที่ 4.16 โดยเส้นทาง P6 มีระยะทาง $d_1 = 45$ เมตร, $d_2 = 50$ เมตร เส้นทาง P7 มีระยะทาง $d_1 = 30$ เมตร, $d_2 = 120$ เมตร เส้นทาง P8 มีระยะทาง $d_1 = 35$ เมตร, $d_2 = 50$ เมตร และเส้นทาง P9 มีระยะทาง $d_1 = 35$ เมตร, $d_2 = 120$ เมตร

การคำนวณค่าสูญเสียของสัญญาณในสมการที่ (4.2) กรณีเส้นทาง LOS (d) นั้น จะใช้ค่า $d_0 = 100$ เมตร เพิ่มค่า d ครั้งละ 1 เมตร ตามระยะทาง LOS ของแต่ละเส้นทาง และใช้ค่าความถี่ 1917.35 MHz

การคำนวณในสมการที่ (4.5)-(4.8) กรณีเส้นทาง NLOS (d) นั้น จะใช้ค่า $\epsilon_r = 3$ [27], ค่า $\sigma = 100$ (สำหรับอาคาร $\sigma \gg 1$) [28] ความถี่ใช้ที่ 1917.350 MHz และค่าตัวแปรต่างๆ ตามตารางที่ 4.3 ซึ่งได้มาจากการสร้างแบบจำลองในกระดาศกราฟโดยจะได้เส้นทางของคลื่นที่เดินทางตามเส้นทางในรูปที่ 4.16 จำนวน 2 เส้นทาง (Ray No.1,2)



รูปที่ 4.16 เส้นทางในการทดสอบ CS2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณค่าการสูญเสียใน NLOS ของ CS2

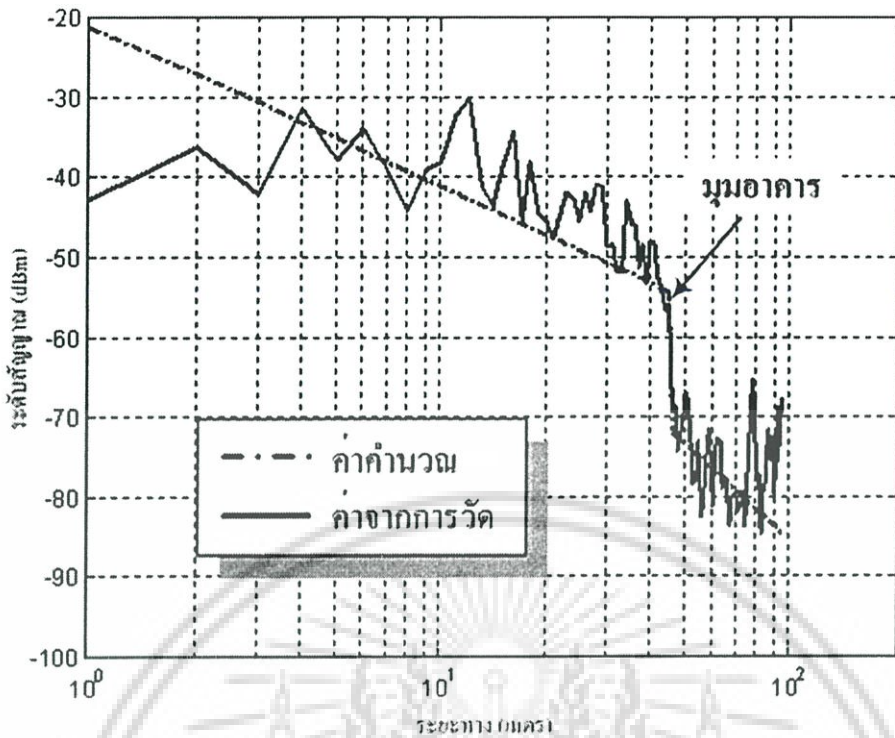
Ray No.	เส้นทาง P6		เส้นทาง P7		เส้นทาง P8		เส้นทาง P9	
	I	2	I	2	I	2	I	2
γ	0°	25°	0°	30°	0°	30°	0°	25°
δ	80°	63°	79°	60°	80°	59°	79°	64°
N	0	1	0	1	0	1	0	1
M	21	7	16	6	34	11	20	9
D	332 m	157 m	284 m	145 m	274 m	133 m	346 m	185 m
φ_i	1	0.0166	1	0.0445	1	0.05	1	0.0445

ตารางที่ 4.4 ค่าลดทอนจากมุมอาคารที่คำนวณได้แต่ละเส้นทางการทดสอบของ CS2

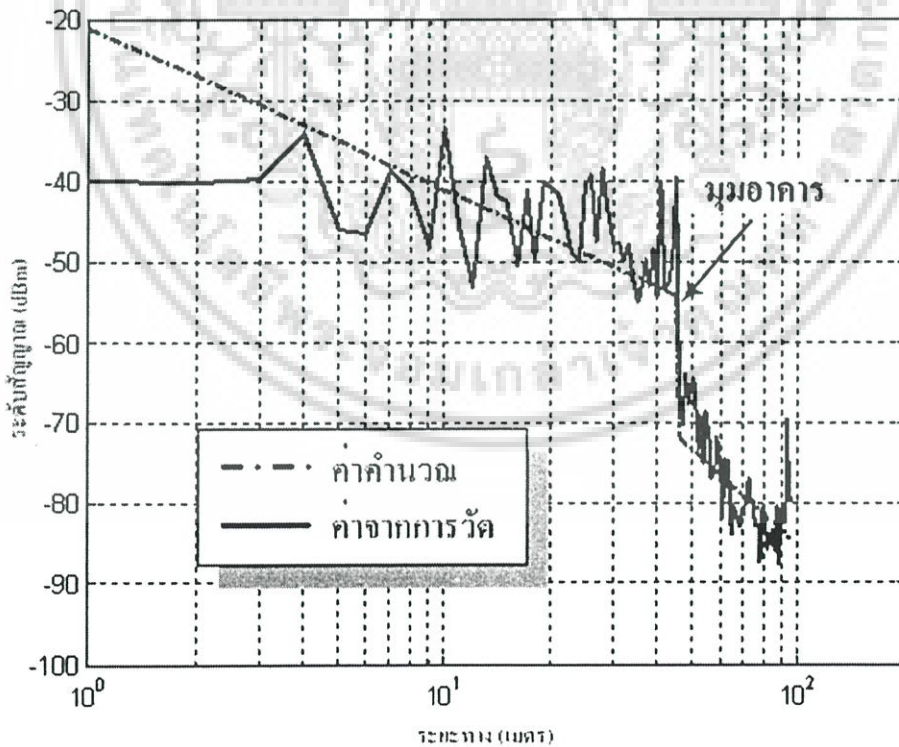
เส้นทาง	L_r (หลังมุมเลี้ยว)	L_r (ก่อนมุมเลี้ยว)	A
P6	28.5718 dB	11.288 dB	17.2838 dB
P7	26.7408 dB	9.775 dB	16.9658 dB
P8	26.5551 dB	9.5336 dB	17.0215 dB
P9	28.584 dB	11.185 dB	17.4 dB

จากตารางที่ 4.4 ค่าการสูญเสียใน NLOS (L_r (หลังมุมเลี้ยว)) แต่ละเส้นทางของ CS2 เส้นทาง P9 จะมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากขนาดของถนนที่เป็น NLOS กว้างที่สุด ทำให้เส้นทางของคลื่นที่เดินทางสะท้อนกับตัวอาคารมีระยะทางยาว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นทาง P7 ที่มีขนาดความกว้างของถนนที่เป็น NLOS เท่ากัน จะเห็นได้ว่าค่า L_r (หลังมุมเลี้ยว) ของ P7 จะต่ำกว่า เนื่องจากระยะทางการเดินทางของคลื่นใน LOS จะสั้นกว่าในเส้นทาง P9 ทำให้การสะท้อนของคลื่นใน NLOS (ค่า M) มีจำนวนครั้งน้อยกว่า ดังนั้นระยะทางการเดินทางของคลื่นทั้งเส้นทาง (ค่า D) ของเส้นทาง P7 จะสั้นกว่าเส้นทาง P9 ส่งผลให้ค่า L_r (หลังมุมเลี้ยว) ของเส้นทาง P7 จึงต่ำกว่าเส้นทาง P9 ในกรณีของเส้นทาง P8 และ P9 ที่มีระยะทาง d , เท่ากันแต่ค่า L_r (หลังมุมเลี้ยว) ของเส้นทาง P9 มีค่าสูงกว่าเส้นทาง P8 เนื่องมาจากถนนที่เป็น NLOS ของเส้นทาง P9 กว้างกว่าเส้นทาง P8 การเดินทางของคลื่นที่สะท้อนกับตัวอาคารใน NLOS ของเส้นทาง P9 มีระยะทางไกลกว่าเส้นทาง P8 ส่งผลให้ค่า L_r (หลังมุมเลี้ยว) ของเส้นทาง P9 จึงสูงกว่าเส้นทาง P8

นำค่า A ที่ได้จากรายการที่ 4.4 มาคำนวณหา L_n ตามสมการที่ (4.9) โดยใช้ค่าสเกล $B = 4$ [25] เพื่อพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงในเส้นทาง NLOS

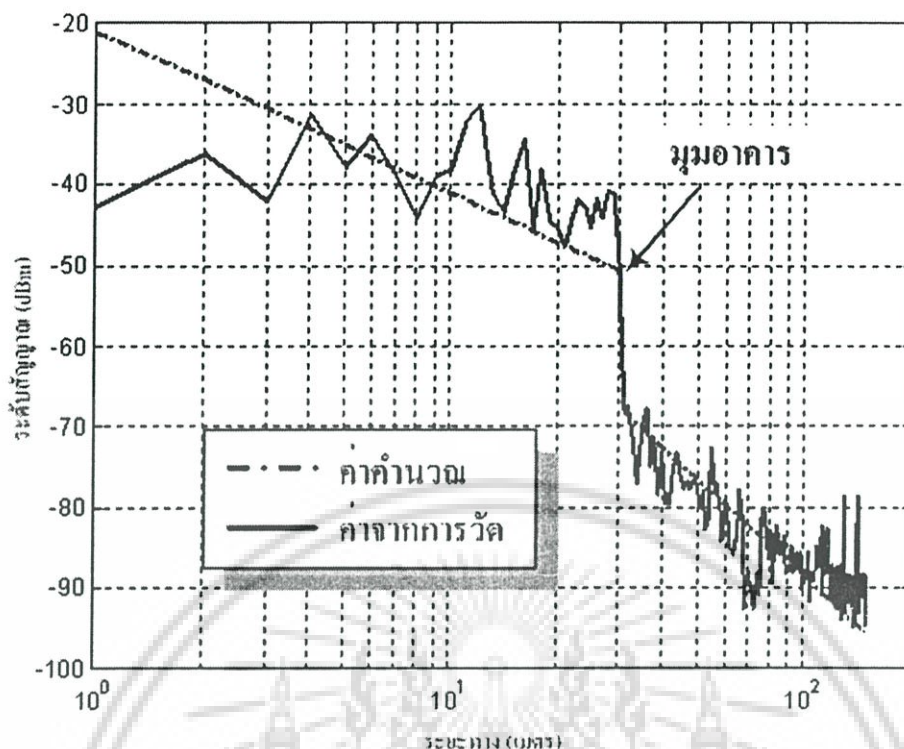


รูปที่ 4.17 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณ ได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)
ในเส้นทาง P6 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.

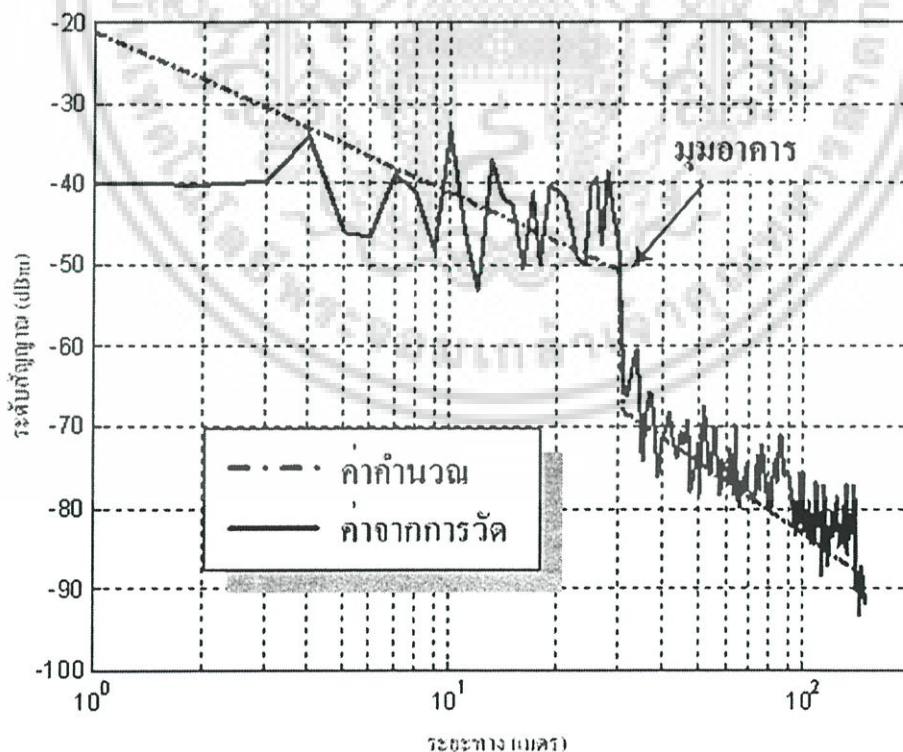


รูปที่ 4.18 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณ ได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)
ในเส้นทาง P6 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



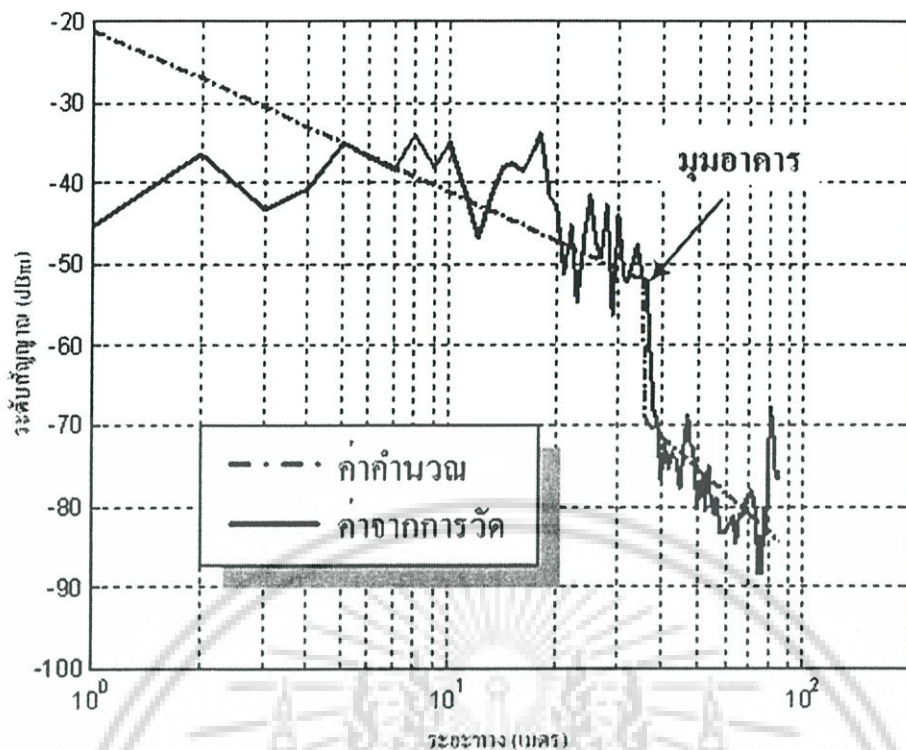
รูปที่ 4.19 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P7 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.



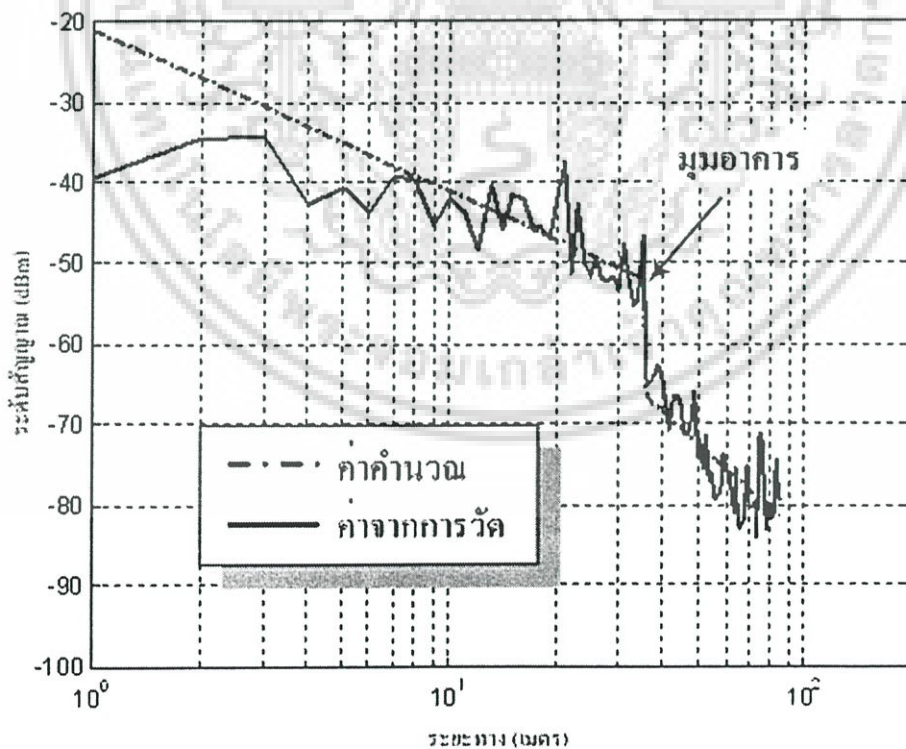
รูปที่ 4.20 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)

ในเส้นทาง P7 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

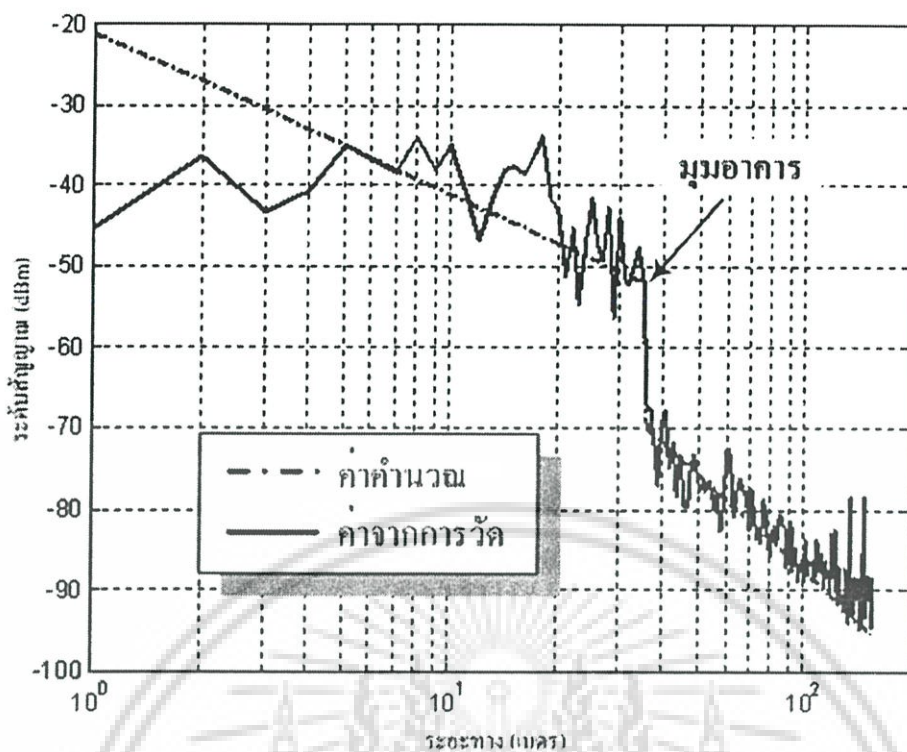


รูปที่ 4.21 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P8 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.

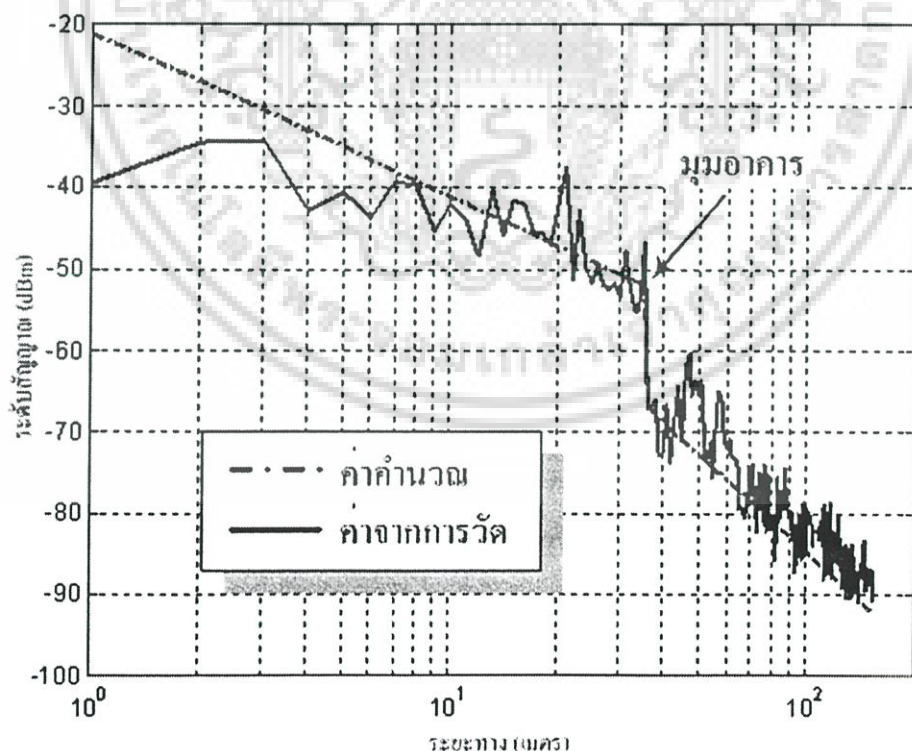


รูปที่ 4.22 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P8 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P9 ช่วงเวลา 06.00 น.-09.00น.



รูปที่ 4.24 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9)

ในเส้นทาง P9 ช่วงเวลา 12.00 น.-16.00น.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

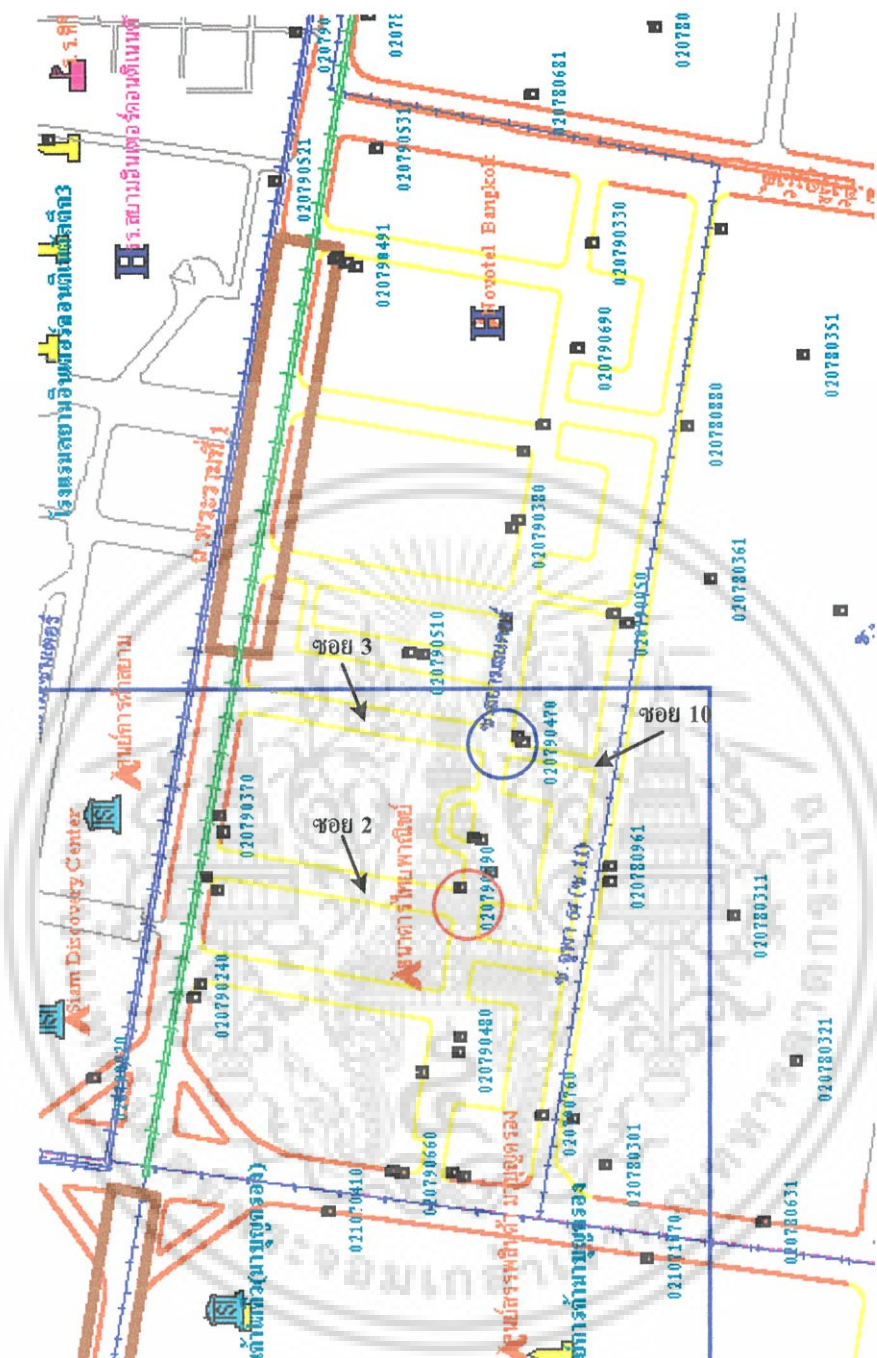
จากรูปที่ 4.6 ถึงรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.17 ถึงรูปที่ 4.24 จะเห็นได้ว่าหลังจากมุมเงี้ยวของอาคารระดับของสัญญาณที่รับได้จะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการบังของตัวอาคาร และในเส้นทาง NLOS นั้นเส้นกราฟจะมีความชันมากกว่าในเส้นทาง LOS เนื่องมาจากการเส้นทางของคลื่นสะท้อนกับตัวอาคารทำให้ระยะทางในการเดินทางเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ค่าการลดทอนสูงขึ้นด้วย และจากข้อมูลทั้งสองช่วงเวลาของทุกเส้นทาง ระดับสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ หรือเกิดการเฟดคั้ง ตลอดเส้นทาง

จากรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าจุดของสถานีเซลล์ที่ใช้พิจารณาจะอยู่บริเวณกึ่งกลางถนนเหตุผลเพราะจะได้สร้างแบบจำลองเส้นทางของคลื่นได้ง่าย ซึ่งในความเป็นจริงการติดตั้งสถานีเซลล์จะติดตั้งบริเวณริมถนน แต่การเคลื่อนจุดของสถานีเซลล์จากกึ่งกลางถนนเข้ามาริมถนนนั้นมุมเส้นทางของคลื่นที่ตกกระทบกับอาคารใน NLOS จะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และในการเปลี่ยนความสูงของ สถานีเซลล์จะมีผลเฉพาะกับเส้นทาง LOS แต่ในเส้นทาง NLOS นั้นมุมตกกระทบและระยะทางเส้นทางของคลื่นก็จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเช่นกัน ทำให้ไม่ส่งผลกับค่าลดทอนจากมุมตึก [26]

4.4 ข้อเสนอแนะตำแหน่งติดตั้งสถานีเซลล์เพิ่มเติม

จากข้อมูลการใช้งานสถานีเซลล์ของโทรศัพท์ระบบ PCT ในพื้นที่สยามสแควร์ของบทความ [3] บริเวณภายนอกอาคารที่มีความจุช่องสัญญาณที่ค่อนข้างจะเหลือน้อยนั้น จะอยู่ที่ชอย 2 ชอย 3 และ ชอย 10 (ดูข้อมูลเพิ่มเติมได้จาก รูปที่ 5 และ รูปที่ 7 ของบทความ [3] ในภาคผนวก โดยตำแหน่งของชอย 2 จะอยู่ที่ระยะทางประมาณ $Y = 290$ เมตร $X = 160$ เมตร ถึง 280 เมตร ชอย 3 จะอยู่ที่ระยะทางประมาณ $Y = 210$ เมตร $X = 160$ เมตร ถึง 280 เมตร และชอย 10 จะอยู่ที่ระยะทางประมาณ $Y = 210$ เมตร $X = 100$ เมตร ถึง 150 เมตร) สำหรับในบริเวณส่วนอื่นๆ จะเป็นบริเวณร้านค้าที่อยู่ภายในตัวอาคาร โดยอาจจะส่งผลทำให้เกิดค่าความน่าจะเป็นการสูญเสียเกินกว่า ค่า GOS ของโทรศัพท์ระบบ PCT ที่กำหนดไว้คือ 0.05 หรือ 5% ดังนั้นในการที่จะลดค่าความน่าจะเป็นการสูญเสียลงนั้นคือการเพิ่มช่องสัญญาณเข้าไปในพื้นที่เพื่อเพิ่มความจุในการรองรับทราฟฟิกขึ้น โดยการติดตั้งสถานีเซลล์เพิ่มเติมลงไป

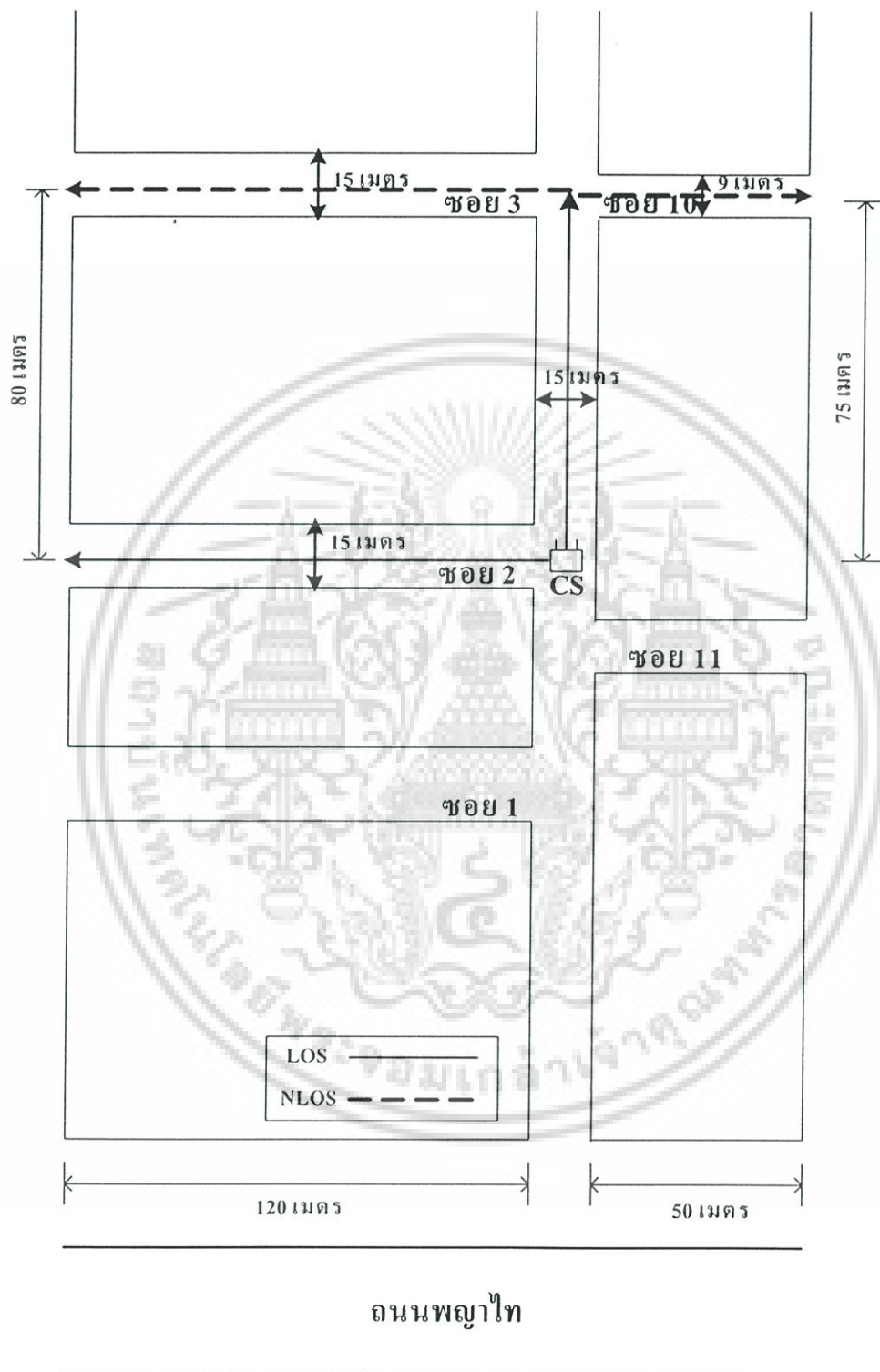
ทำการทดลองกำหนดจุดที่คาดว่าจะติดตั้งสถานีเซลล์เพิ่มเติมเพื่อเพิ่มช่องสัญญาณในการรองรับการใช้งานในบริเวณชอย 2 โดยใช้สถานีเซลล์ขนาดกำลังส่ง 20 mW ที่ใช้สายอากาศแบบ omni directional เกิน 4 dBi กำหนดจุดติดตั้งตามที่ได้วงกลมสีแดงไว้ในรูปที่ 4.25 ด้วยเหตุผลที่ว่าที่จุดนี้มีเสาไฟฟ้าที่สามารถติดตั้งสถานีเซลล์ได้ แต่บริเวณภายในชอยทั้งสองข้างเป็นตัวอาคารซึ่งไม่สามารถติดตั้งสถานีเซลล์ได้ จากนั้นทำการทดลองคำนวณค่าลดทอนสัญญาณ และแสดงกราฟระดับของสัญญาณที่แพร่กระจายเข้าไปยังภายในชอย 2 ซึ่งเป็นเส้นทาง LOS และ ที่แพร่กระจายเข้าไปยังภายในชอย 3 และ ชอย 10 ซึ่งเป็นเส้นทาง NLOS ตามรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.25 แผนผังบริเวณพื้นที่สยามสแควร์

การคำนวณค่าลดทอนสัญญาณ และแสดงกราฟระดับของสัญญาณแพร่กระจายเข้าไปยังภายในซอย 2 ซึ่งเป็นเส้นทาง LOS จะใช้สมการที่ (4.2) และ ที่แพร่กระจายเข้าไปยังภายในซอย 3 และ ซอย 10 ซึ่งเป็นเส้นทาง NLOS จะใช้สมการที่ (4.5) ถึง (4.10) โดยค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณค่าลดทอนจากมุมอาคาร และค่าลดทอนจากมุมอาคารที่คำนวณได้ของซอย 3 และ ซอย 10 แสดงตามตารางที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 เส้นทางการแพร่กระจายคลื่นของสถานีเซลล์จากจุดที่คาดว่าจะติดตั้งเพิ่มเติม

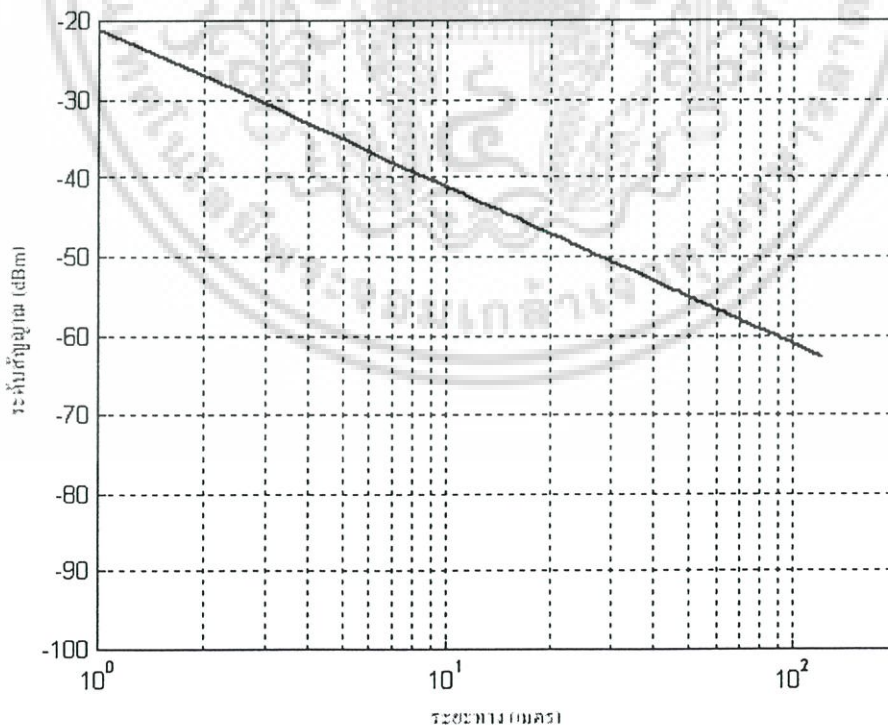
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณค่าลดทอนจากมุมอาคารของชอย 3 และชอย 10

Ray No.	ชอย 3		ชอย 10	
	1	2	1	2
γ	0°	17°	0°	17°
δ	84°	73°	84°	73°
N	0	1	0	1
M	33	11	49	19
D	569 m	253 m	509 m	250 m
ϕ	1	0.0167	1	0.0167

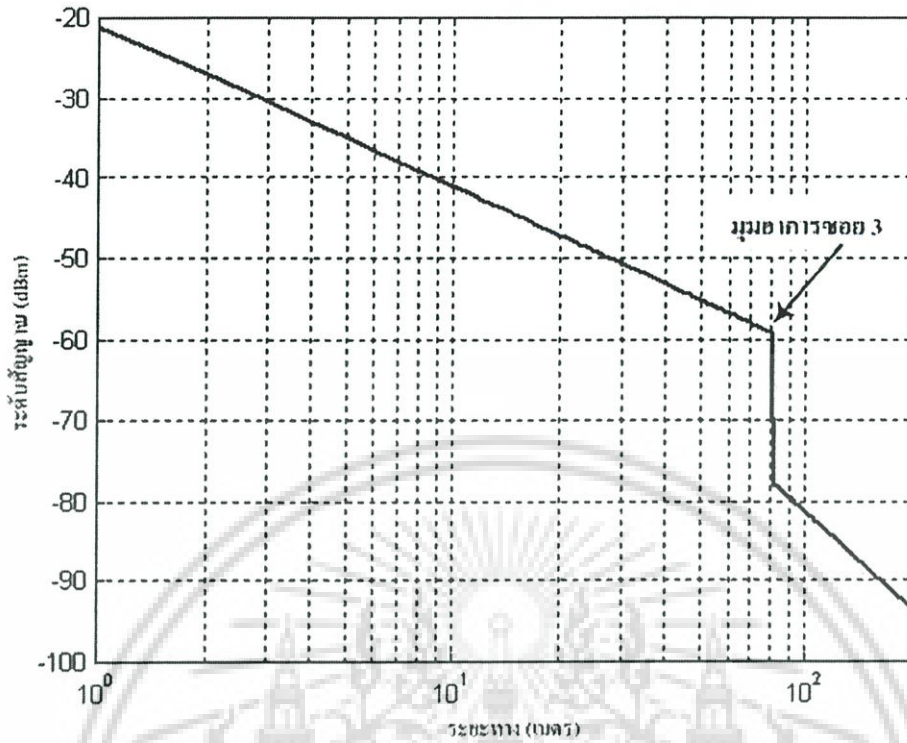
ตารางที่ 4.6 ค่าลดทอนจากมุมอาคารที่คำนวณได้ของชอย 3 และชอย 10

เส้นทาง	L_r (หลังมุมเดี่ยว)	L_r (ก่อนมุมเดี่ยว)	A
ชอย 3	33.42 dB	14.936 dB	18.484 dB
ชอย 10	32.80 dB	14.557 dB	18.243 dB

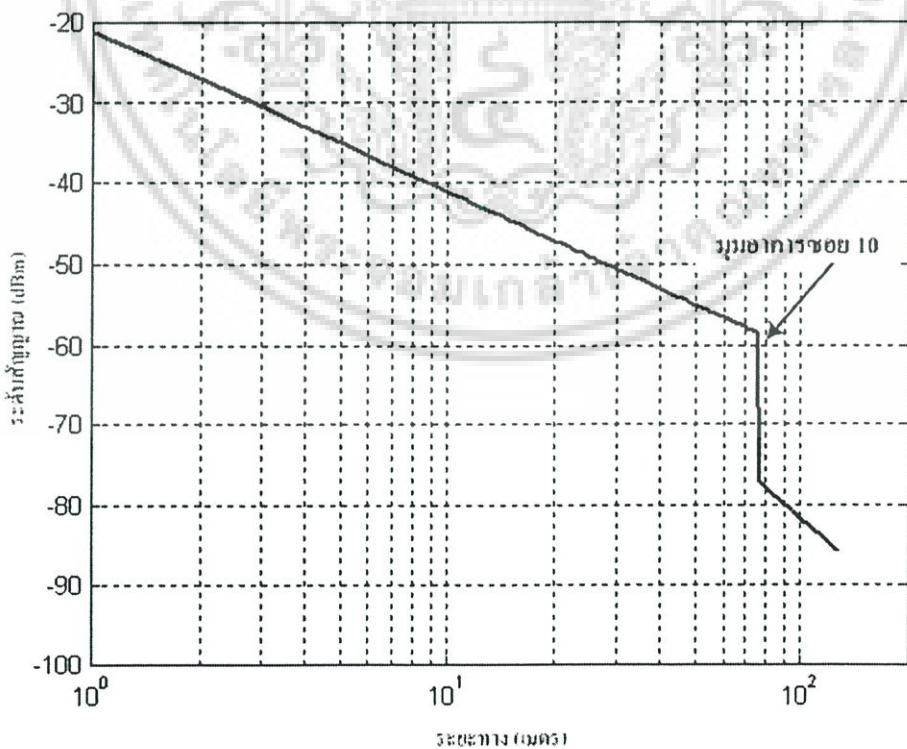


รูปที่ 4.27 ระดับสัญญาณที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) ในเส้นทางชอย 2 (LOS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ระดับสัญญาณที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทางชอย 3 (NLOS)



รูปที่ 4.29 ระดับสัญญาณที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทางชอย 10 (NLOS)
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการกำหนดช่องสัญญาณสื่อสาร (Traffic Channel : TCH) ของสถานีเซลล์เพื่อให้กับเครื่องลูกข่ายในการติดต่อสื่อสารนั้น มีกระบวนการตามนี้คือ เมื่อมีการร้องขอใช้ช่องสัญญาณจากเครื่องลูกข่ายผ่านช่องสัญญาณควบคุม (Control Channel : CCH) ที่เรียกว่า Signaling Control Channel (SCCH) [1] สถานีเซลล์จะตรวจสอบเครื่องลูกข่ายว่าเป็นตัวที่ได้รับอนุญาตอย่างถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้องสถานีเซลล์จะดูว่ามีช่องสัญญาณสื่อสารของตัวเองว่างหรือไม่ ถ้ามีก็จะกำหนดให้เครื่องลูกข่ายใช้งาน กรณีที่ไม่ว่าง และเครื่องลูกข่ายสามารถรับสัญญาณจากสถานีเซลล์ตัวอื่นได้ก็จะทำการแฮนด์โอเวอร์ โดยที่เครื่องลูกข่ายจะทำการตรวจจับสัญญาณของสถานีเซลล์ที่มีความแรงของสัญญาณลำดับถัดไป เมื่อหาได้แล้วก็จะยกเลิกการสื่อสารกับสถานีเซลล์ตัวเดิม และจับใช้งานสถานีเซลล์ตัวใหม่เพื่อร้องขอใช้ช่องสัญญาณสื่อสาร ดังนั้นระดับสัญญาณของสถานีเซลล์ที่เครื่องลูกข่ายสามารถใช้งานได้ต้องเท่ากับระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์อิน คือ 30 dB μ V (อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.2.2.5) หรือประมาณ -77 dBm

จากระดับสัญญาณของสถานีเซลล์ที่คาดว่าจะติดตั้งที่จุดวงกลมสีแดงในรูปที่ 4.25 ในรูปที่ 4.27 จะเห็นได้ว่าระดับสัญญาณของคลื่นที่แพร่กระจายในชอย 2 สูงกว่าระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์อิน คือ -77 dBm ตลอดเส้นทาง เนื่องจากเป็นเส้นทาง LOS ไม่มีการบดบังของตัวอาคาร ในรูปที่ 4.28 และ 4.29 จะเห็นได้ว่าระดับสัญญาณของคลื่นที่แพร่กระจายในชอย 3 และ ชอย 10 หลังจากมุมเงี้ยวของอาคารต่ำกว่าระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์อิน คือ -77 dBm ตลอดเส้นทาง ดังนั้นการติดตั้งสถานีเซลล์ที่จุดนี้สามารถให้บริการช่องสัญญาณเครื่องลูกข่ายเพิ่มเติมได้ในชอย 2 แต่ไม่สามารถให้บริการเครื่องลูกข่ายในกรณีที่อยู่ในชอย 3 และ 10 ได้ ดังนั้นควรติดตั้งสถานีเซลล์เพิ่มเติมที่จุดวงกลมสีน้ำเงินที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.25 เนื่องจากจุดนี้เส้นทางในชอย 3 และ 10 จะเป็น LOS ซึ่งจะทำให้สามารถบริการเครื่องลูกข่ายที่อยู่ใน 2 ชอยนี้ได้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT : Personal Personal Communication Telephone) เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายชนิดหนึ่ง que พัฒนามาจากระบบ PHS ของประเทศญี่ปุ่น โดยสถานีเซลล์ของโทรศัพท์ระบบ PCT จะเป็นสถานีเซลล์ขนาดเล็กหรือที่เรียกว่าไมโครเซลล์ การติดตั้งสถานีเซลล์ที่อยู่ติดกัน จะติดตั้งให้พื้นที่ครอบคลุมมีการเหลื่อมล้ำกันเพื่อให้มีการใช้งานเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง โดยระดับของสัญญาณที่เครื่องลูกข่ายจะทำการข้ามเซลล์เราเรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์เอาท์ (Handover out) จะอยู่ที่ประมาณ 25 dB μ V ระดับของสัญญาณสถานีเซลล์ตัวใหม่ที่จะรองรับการข้ามเซลล์ได้เราเรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์อิน (Handover in) จะอยู่ที่ประมาณ 30 dB μ V เนื่องจากการติดตั้งสถานีเซลล์ของโทรศัพท์ระบบ PCT นั้น ส่วนใหญ่จะติดตั้งบริเวณเสาไฟฟ้าข้างถนนซึ่งมีระดับต่ำกว่าความสูงของอาคารโดยรอบ โดยมากสิ่งแวดล้อมในพื้นที่เขตเมืองนั้นจะมีตัวอาคารอยู่สองข้างถนน ดังนั้นเส้นทางการแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์นั้นจะมีทั้งเส้นทางระดับแนวสายตา (Line-of-Sight: LOS) และเส้นทางระดับแนวอกสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS) ซึ่งการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทาง NLOS จะเกิดจากการสะท้อนของคลื่นกับสิ่งแวดล้อมบริเวณข้างถนนในเส้นทาง LOS แล้วเลี้ยวเบนเข้าไปยังเส้นทาง NLOS

การเดินทางของคลื่นในเส้นทาง NLOS นั้น จะมีการสะท้อนไปมาระหว่างตัวอาคารบริเวณสองข้างถนนเช่นเดียวกัน ทำให้ระยะทางของการเดินทางเพิ่มมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าการสูญเสียเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และการที่เส้นทางของคลื่นที่เดินทางใน NLOS มารวมกันที่ตำแหน่งต่างๆ ในเส้นทาง เฟสของคลื่นเหล่านั้นจะมีทั้งที่เป็นเฟสเดียวกันและต่างเฟสกันซึ่งจะทำให้เกิดการเสริมหรือหักล้างกัน ทำให้ระดับสัญญาณที่รับได้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ โดยจะเรียกลักษณะการเกิดแบบนี้ว่า การเฟดดิ้งของสัญญาณ ดังนั้นการพิจารณาจุดติดตั้งสถานีเซลล์ของโทรศัพท์ระบบ PCT ควรจะคำนึงถึงรูปแบบของถนนและสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าลดทอนจากมุมอาคารมีค่าที่แตกต่างกัน ทำให้พื้นที่ครอบคลุมของสถานีเซลล์แต่ละตัวแตกต่างกันด้วย

5.1 สรุปรูปแบบของถนนที่ส่งผลกับค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS

การทดสอบการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทาง NLOS ในงานวิจัยนี้ จะทำการทดสอบสถานีเซลล์ของโทรศัพท์ระบบ PCT ขนาด 20 mW จำนวน 2 ตัว ในบริเวณสยามสแควร์ซึ่งมีลักษณะของตัวอาคารที่มีความสูงเฉลี่ยที่เท่ากัน และมีรูปแบบความกว้างของซอยที่เป็น NLOS แตกต่างกัน การเก็บข้อมูลระดับสัญญาณของแต่ละเส้นทางจะเก็บข้อมูลระดับสัญญาณที่เครื่องมือวัดสามารถรับได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งละ 1 เมตร ต่อ 10 ข้อมูลจากนั้นจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าระดับสัญญาณที่ได้จากการคำนวณ โดยจะการทดสอบการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทาง NLOS ของสถานีเซลล์ตัวที่ 1 (CS1) จำนวน 5 เส้นทาง สถานีเซลล์ตัวที่ 2 (CS2) จำนวน 4 เส้นทาง

การคำนวณค่าการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทาง LOS จะใช้สมการ Log-Distance Path Loss และกรณีของเส้นทาง NLOS จะทำการสร้าง โมเดลตำแหน่งของตัวอาคารที่จำลองแบบเป็นรูปบล็อกสี่เหลี่ยม และรูปแบบของถนนให้ใกล้เคียงกับพื้นที่จริง เพื่อหาเส้นทางการเดินทางของคลื่น ซึ่งจะทำให้ทราบค่าตัวแปรต่างๆ ในการคำนวณหาค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS โดยค่าลดทอนที่เกิดจากมุมบังของอาคารก็จะหาได้จากผลต่างระหว่างค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS กับค่าการสูญเสีย ณ ตำแหน่งที่เส้นทางของคลื่นรวมกันก่อนมุมเลี้ยวของอาคารแต่ละเส้นทาง จากการคำนวณที่ได้สามารถสรุปรูปแบบของถนนที่ส่งผลกับค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS ได้ดังนี้คือ

1. กรณีที่ความกว้างของถนนที่เป็น NLOS เท่ากัน แต่มีระยะทางจากสถานีเซลล์ถึงมุมเลี้ยวของอาคาร (d_i) ไม่เท่ากัน ค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS ที่มีระยะทาง d_i ไกลกว่าจะมีค่าที่สูงกว่า ดังเช่นในเส้นทาง P1 กับ P3 และ P9 กับ P7 เนื่องจากเส้นทางของคลื่นที่สะท้อนกับตัวอาคารในเส้นทาง NLOS มีมุม δ ที่กว้างกว่า ส่งผลให้จำนวนครั้งในการสะท้อนมาก (ดูจากตัวอย่างรูปที่ 4.2) การเดินทางของคลื่นใน NLOS จึงมีระยะทางเพิ่มมากขึ้นเมื่อรวมกับที่เดินทางใน LOS ค่าของ D จึงมากขึ้น ทำให้เกิดค่าสูญเสียสูงขึ้นตามไปด้วย

2. กรณีที่ความกว้างของถนนที่เป็น NLOS ต่างกัน แต่มีระยะทางจากสถานีเซลล์ถึงมุมเลี้ยวของอาคาร (d_i) เท่ากัน ค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS ที่มีความกว้างของถนนที่เป็น NLOS มากกว่าจะมีค่าที่สูงกว่า ดังเช่นในเส้นทาง P8 กับ P9 เนื่องจากการเดินทางของคลื่นที่สะท้อนกับตัวอาคารใน NLOS จะมีระยะทางไกลกว่าเส้นทาง NLOS ที่มีความกว้างของถนนแคบกว่า ทำให้เกิดค่าสูญเสียสูงขึ้นตามไปด้วย

3. กรณีที่ความกว้างของถนนที่เป็น NLOS และระยะทางจากสถานีเซลล์ถึงมุมเลี้ยวของอาคาร (d_i) เท่ากัน ค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS จะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังเช่นในเส้นทาง P4 กับ P5 เนื่องจากเส้นทางของคลื่นที่สะท้อนใน LOS และ NLOS มีลักษณะเหมือนกัน ดังนั้นค่าตัวแปรต่างๆ จึงมีค่าเท่ากันด้วย

5.2 สรุปผลที่ได้จากการคำนวณและที่วัดได้จริง

จากค่าลดทอนที่เกิดจากมุมบังของอาคารแต่ละเส้นทางที่แสดงในตาราง 4.2 และ 4.4 จะมีค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากจะได้มาจากผลต่างระหว่างค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS กับค่าการสูญเสียที่ตำแหน่งก่อนมุมเลี้ยวของอาคารแต่ละเส้นทาง ซึ่งแต่ละเส้นทางก็มีค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS และค่าการสูญเสีย ณ ตำแหน่งที่เส้นทางของคลื่นรวมกันก่อนมุมเลี้ยวของอาคาร ที่แตกต่างกันตามรูปแบบของถนน

จากรูปกราฟระดับสัญญาณของ CSI รูปที่ 4.6 ถึงรูปที่ 4.15 และรูปที่ 4.17 ถึงรูปที่ 4.24 ระดับสัญญาณที่วัดได้บริเวณใกล้กับสถานีเซลล์ในเส้นทาง LOS จะมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณ เนื่องจากจากการคำนวณจะคำนวณจากสายอากาศ แต่ในความเป็นจริงการวัดสัญญาณจะอยู่ต่ำกว่าจุดติดตั้งสถานีเซลล์ ไม่สามารถวัดได้จากระดับสายอากาศ ซึ่งรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบ omni directional จะมีมุมในการแพร่กระจายคลื่น ระยะทางที่ใกล้กับสายอากาศที่ไม่อยู่ในรัศมีในการแพร่กระจายคลื่นจะมีกำลังงานที่ต่ำ แต่เมื่อระยะทางไกลออกไปค่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณจะใกล้เคียงกัน

ระดับสัญญาณที่วัดได้จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ทั้งสองช่วงเวลาคล้ายคลึง ดังนั้นปริมาณของผู้คนจะไม่ส่งผลกับการแพร่กระจายคลื่นในพื้นที่ เนื่องมาจากการเฟดดิ้งของสัญญาณในพื้นที่เขตเมืองที่มีตัวอาคารตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก จะเป็นการเฟดดิ้งที่เรียกว่า เรย์ไลต์เฟดดิ้ง (Rayleigh fading) หรือ มัลติพาทเฟดดิ้ง (Multipath fading) [29] โดยเกิดจากคลื่นวิทยุที่เครื่องลูกข่ายรับได้ จะมาจาก คลื่นวิทยุจริง (Standing wave) และคลื่นวิทยุที่สะท้อนกับตัวอาคาร ซึ่งทำให้เกิดรูปแบบของคลื่นแบบสแตนด์เวฟเพอร์ (Standing wave pairs) ทำให้เกิดรูปแบบโครงสร้างที่ไม่แน่นอนของคลื่นเฟดดิ้ง เมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางทำให้ระดับสัญญาณเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ซึ่งการที่คลื่นสะท้อนกับตัวอาคารยังส่งผลให้ค่าระดับสัญญาณในเส้นทาง NLOS ลดลงด้วยความชันกว่าในเส้นทาง LOS เนื่องจากการสะท้อนระหว่างตัวอาคารทำให้เกิดค่าการสูญเสียเพิ่มมากขึ้น

ค่าที่คำนวณได้สามารถใช้พิจารณาการรองรับการใช้งานของสถานีเซลล์ได้ คือถ้าเครื่องลูกข่ายจะทำการเข้าไปใช้สถานีเซลล์ตัวใหม่หรือแฮนด์โอเวอร์เอาท์ เมื่อระดับสัญญาณของสถานีเซลล์ที่เครื่องลูกข่ายรับได้ต่ำกว่า 25 dB μ V หรือ ประมาณ -82 dBm และสถานีเซลล์จะสามารถรองรับการข้ามเซลล์ หรือแฮนด์โอเวอร์อินได้ เมื่อระดับสัญญาณที่เครื่องลูกข่ายรับได้สูงกว่า 30 dB μ V หรือ ประมาณ -77 dBm

5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ คือ การวัดระดับกำลังงานนั้นจะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงเสมอไม่คงที่ เนื่องมาจากบริเวณสยามสแควร์มีปริมาณของตัวอาคารในพื้นที่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องมีการเก็บข้อมูลระดับของสัญญาณในแต่ละจุดหลายๆ ค่าและนำมาหาค่าเฉลี่ย การวัดค่าที่ระยะต่างๆ อาจจะไม่ถูกต้องตามระยะทางจริงในพื้นที่ เนื่องมาจากไม่ได้ใช้เครื่องมือวัดระยะทางในการวัดระยะในการเก็บข้อมูลแต่ละจุด แต่ใช้การประมาณเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการเก็บข้อมูล ซึ่งอาจจะทำให้ค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณได้บางจุดอาจจะแตกต่างกันบ้าง ดังนั้นเพื่อความถูกต้องควรใช้เครื่องมือวัดระยะทางที่สามารถวัดระยะได้รวดเร็วในการเก็บข้อมูล ปัญหาที่เกิดขึ้นอีกอย่างหนึ่งก็คือการสร้างแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นที่อาจจะคลาดเคลื่อนกับพื้นที่จริง ซึ่งจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกพันหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ค่าตัวแปรต่างๆ และการคำนวณที่ได้เกิดความผิดพลาด ดังนั้นควรมีการวัดระยะทางและขนาดความกว้างถนนให้แน่นอนก่อนการสร้างแบบจำลอง ซึ่งควรจะสร้างลงในกระดาษกราฟที่มีสเกลที่ละเอียดถูกต้อง และใช้อุปกรณ์ที่มาตรฐานในการวัดมุมหรือระยะทางต่างๆ ในแบบจำลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] มนูญ ขวัญสูงเนิน. **ความรู้เกี่ยวกับโครงข่ายโทรศัพท์บ้านพกพา (Personal Communication Telephone Network Introduction)**. Telecom Training and Development Co.,LTD (TT&D). 1997.
- [2] Moungnoul P., Tangtisanon P. and Paungma T. “Cell Station Design for Personal Communication Telephone.” Proc. The 6th IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing and Communication System (ISPACS'98), vol. 2, November 1998. pp. 645-649.
- [3] อำนวย ชัยสวัสดิ์, ไกรสิน ส่งวัฒนา. “การวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับทราฟฟิกช่องสัญญาณวิทยุของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT) โดยพิจารณาความหนาแน่นของช่องสัญญาณวิทยุตามพื้นที่.” NECTEC Technical Journal, ปีที่ 4, ฉบับที่ 13, มีนาคม-มิถุนายน 2546. หน้า 281-288.
- [4] ญัตติกมล นาเมือง. “การคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543
- [5] Vijay k. Gargand Joseph E. Wikes. **Wireless and Personal Communication System**. Prentice Hall PTR. 1996.
- [6] ETR 015. “DECT reference document.” ETSI, March 1991.
- [7] S. Ghaheri Niri, R. Tafazoli. B.G. Evans. “Wide Area Mobility for DECT.” IEEE Global Telecommunication Conference, vol.2, Nov. 1996. pp. 1119-1125.
- [8] TR 056. “DECT System description.” ETSI, July 1993.
- [9] Bell Communication Research (Bell Core). **Comparison of Low Power Wireless Access System: PACS PHS and DECT for Public Environment**. 1996.
- [10] Nippon Telegraph and Telephone Corporations (NTT). **Personal Handy-phone and the VI&P Concept**. 1995.
- [11] NEC Corporation. “PHS Cell Station Instruction Manual.” 1st Edition, December 1996
- [12] Helgert H. J. **Integrated Service Digital Network**. Addison-Wesley. 1991
- [13] CCITT. **Recommendation I serier**. Geneva : ITU. 1989.
- [14] Ministry of Posts & Telecommunications (MPT) Japan. **Personal Handy-phone System Guidebook**. 1995.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] CCITT. **Recommendation Q.700 series**. Geneva : ITU. 1989.
- [16] Association of Radio Industries and Businesses (ARIB). **Personal Handy-phone System ARIB Standard**. Version 3.2. February. 1999.
- [17] Sampei S. **Application of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications**. Prentice Hall. 1997.
- [18] ITU-T. **Recommendation G726, 40, 32,16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)**. 1990.
- [19] Okumura Y., Ohmori E., Kawano T. and Fukuda K. "Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land Mobile Service." Review of Electrical Communication Laboratory, Vol. 16, No. 9-10, September-October 1968. pp. 825-73.
- [20] Hata M. "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Service." IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. VT-29, August 1990. pp. 317-325.
- [21] Simon R. Saunders. **Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems**. John Wiley & Sons Ltd., 1999.
- [22] F. Ikegami, T. Takeuchi and S. Yoshida. "Theoretical Prediction of Mean Field Strength for Urban Mobile Radio." IEEE Trans. Ant. Prop., vol. 3, no. 39, 1977. pp. 299-302.
- [23] Bernard S. "Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication System Part I: Characterization." IEEE Communications Magazine, Vol. 35, July 1997. pp. 90-93.
- [24] Catedra, Manuel F. **Cell Planning for Wireless Communications**. Boston : Artech House, Inc. 1999.
- [25] Jorgen B. A., Theodore S. R. and Susumu Y. "Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels." IEEE Communication Magazine, January 1995. pp. 44-46.
- [26] V. Erceg, S. Ghassemzadeh, M. Taylor, D. Li and D. L. Schilling. "Urban/Suburban Out-of-Sight Propagation Modeling." IEEE Communication Magazine, Vol. 30, June 1992. pp. 56-61.
- [27] N. Papadakis, Athanasios G. Kanatas and P. Constantinou. "Microcellular Propagation Measurement and Simulation at 1.8 GHz in Urban Radio Environment." IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 47, No. 3, Aug. 1998. pp. 1025.
- [28] W. C. Y. Lee. **Mobile Communications Engineering**. McGraw Hill. 1982.

- [29] ถวิล พึ่งมา. ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้รับการตีพิมพ์

- [1] อำนาจ ชิมสวัสดิ์, ไกรสิน ส่องวัฒนา และพิเชฐ ม่วงนวล. “การศึกษาค่าลดทอนสัญญาณจากมุมอาคารในเส้นทางนอกระดับแนวสายตาของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT).” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 20, ฉบับที่ 3, กันยายน 2546. หน้า 24-29.
- [2] อำนาจ ชิมสวัสดิ์, ไกรสิน ส่องวัฒนา. “การวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับทราฟฟิกช่องสัญญาณวิทยุของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT) โดยพิจารณาความหนาแน่นของช่องสัญญาณวิทยุตามพื้นที่.” NECTEC Technical Journal, ปีที่ 4, ฉบับที่ 13, มีนาคม-มิถุนายน 2546. หน้า 281-288.





ISSN 0125-1724

วิศวกรรม

ลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

LADKRABANG ENGINEERING JOURNAL

ปีที่ 20 ฉบับที่ 3

กันยายน 2546

1. วงจรกำเนิดความถี่แบบเลื่อนเฟสโดยใช้เทคโนโลยีซีมอส มนตรี คำเงิน กอบชัย เดชหาญ สมพงษ์ อารีย์ สุรพล บุญจันทร์ 1
2. วงจรความต้านทานแบบบวกที่ควบคุมด้วยแรงดันโดยใช้มอสทรานซิสเตอร์ สมนึก หัวหาญ กอบชัย เดชหาญ อธิพงษ์ ชัยสายันท์ 6
3. แอปพลิเคชันโปรแกรมโทรศัพท์และอินเตอร์เน็ตแบบโครงสร้างข้อมูล BAI บนโครงข่าย ISDN ทวีพร เลิกชะอุม กอบชัย เดชหาญ 12
4. การวิเคราะห์ระบบเครือข่ายท้องถิ่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ สุพัตรา ทองเกษม กฤษณะพงศ์ พันธุ์ศรี กอบชัย เดชหาญ นภัทร สระเอี่ยม 18
5. การศึกษาค่าลดทอนสัญญาณจากมุมอาคารในเส้นทางนอกระดับแนวสายตาของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT) อำนวย ยิ้มสวัสดิ์ ไกรสิน สงวัฒนา พิเชฐ ม่วงนวล 24
6. การจัดกลุ่มเอกสารโดยใช้ Self-Organizing Map แบบความเร็วสูง พรเทพ โรจนวสุ เอื้อน ปิ่นเงิน 30
7. การศึกษาเชิงทดลองเครื่องผลิตไฟฟ้าจากตะกั่วเทอร์โมอิเล็กทริก เจริญพร เลิศสถิตธนกร ณัฐวุฒิ สุวรรณทา 36
8. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PSS/E เพื่อใช้งานแผนระยะสั้นในเขตนครหลวง เขาวุฒิ ธรรมเพียร มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ 42
9. การตรวจจับและระบุตำแหน่งพอลติโดยใช้การแปลงเวฟเลิตและโครงข่ายประสาทเทียมชนิดจัดกลุ่มด้วยตนเอง อรรถพล เก่าพิทักษ์กุล ศุภี บรรจงจิตร ฐิติพงษ์ นิยมสัณฑ์ 48
10. การวิเคราะห์ไหลเกินในระบบไฟฟ้ากำลังโดยวิธีโลเนียเซนซิติวิตีแพกเตอร์แบบปรับปรุง สิทธิเดช วชิราศรีศิริกุล ศิลป์ชัย พงษ์ประเสริฐ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ 54
11. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ให้ความร้อน 1-เฟส ด้วยวิธีการปรับจำนวนไซเคิลเต็มแบบดิจิทัล รัศมีศักดิ์ ยี่รอสา วิริยะ พิเชฐจำเริญ 60
12. การวิเคราะห์การใช้พลังงานของรถไฟฟ้า สิปปภาส จารวรรณชัย ศิริวัฒน์ ไพโอเวชกุล 66
13. การประเมินความสามารถของผู้รับเหมา : มุมมองจากอุตสาหกรรมก่อสร้างในรัฐควีนแลนด์ จักรพงษ์ พงษ์เพ็ง 72
14. การศึกษาพฤติกรรมทางกลของเทปรัดล่องสินค้าซึ่งทำจากเศษโพลีโพรพิลีน วีรศักดิ์ หมูเจริญ มิ่ง โลกิจแสงทอง ชาลิต แสงสวัสดิ์ 78
15. ผลกระทบของ residence time ของอนุภาคแคลเซียมคาร์บอเนตต่อกระบวนการดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นิติชัย ปัญญาบุศยกุล จารวัตร เจริญสุข 84
16. อิทธิพลของเงื่อนไขการทำงานต่อการเกิดรอยประสานและรอยร้าวในการขึ้นรูปพลาสติกแบบฉีด วิษรสรณ์ โชคชัยวิวัฒน์ จารวัตร เจริญสุข 90
17. คุณลักษณะของการเนาไหมเชื้อเพลิงกลบในเตาเผาออร์ตแบบสองชั้น อิงยง แก้วก่อเกียรติ นิยม ศรีศิริสิทธิกุล พงษ์เจต พรหมวงษ์ 96
18. สหสัมพันธ์ของท่อเขย่า เทอดไทย วัฒนธรรม ชื่นกมล ช้องเกี้ยวพันธ์ 102
19. การศึกษาการไหลผ่านลิ้นหัวใจเทียมโดยเทคนิคการสังเกตการไหลจากเส้นควิน สมบัติ เอี่ยมสะอาด วิชาญ คงเกียรติไพบูลย์ นิยม ศรีศิริสิทธิกุล พงษ์เจต พรหมวงษ์ 108
20. Periodic Performance of a Membrane Reactor for Methane Steam Reforming Duangkamol Na-Ranong Takao Ohmori Takuji Yamamoto Akira Endo Takaji Akiya and Masaru Nakaiwa 114

การศึกษาค่าลดทอนสัญญาณจากมุมอาคารในเส้นทางนอกระดับ แนวสายตาของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT) Study of Building Corner Attenuation in Non-Line-of-Sight Path of Personal Communication Telephone (PCT) System

อำนาจ อิมสวัสดิ์ ไกรสิน ส่วงวัฒนา พิเชฐ ม่วงนวล

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาค่าลดทอนสัญญาณจากมุมอาคาร ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT) โดยใช้แบบจำลองของพื้นที่ในการพิจารณาจากการแพร่กระจายของคลื่นในเส้นทางนอกระดับแนวสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS) เพื่อหาค่าการลดทอนสัญญาณจากมุมอาคาร เพื่อใช้พิจารณาตำแหน่งการติดตั้งสถานีเซลล์ (Cell Station: CS) ในกรณีที่พื้นที่บริการครอบคลุมเส้นทางในมุมเลี้ยวที่มีอาคารบดบังการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางแนวระดับสายตา (Line-of-Sight: LOS)

Abstract

This paper presents the study of building corner attenuation in Non-Line-of-Sight path of Personal Communication Telephone (PCT) system by use model to considering wave propagation in Non-Line-of-Sight path to evaluate building corner attenuation. The results will be used for placement design of cell stations in service area coverage for Non-Line-of-Sight streets.

1. บทนำ

สถานีเซลล์ (Cell Station: CS) ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (Personal Communication Telephone: PCT) จะเป็นเซลล์ชนิดไมโครเซลล์ มีด้วยกันทั้งหมด 2 แบบ คือแบบที่ใช้งานในโหมดสาธารณะมี 2 ขนาด คือขนาด 20 mW และ 200 mW อีกชนิดหนึ่งคือแบบที่ใช้งานในโหมดส่วนตัวขนาด 10 mW [1]

พื้นที่บริการของสถานีเซลล์แบบที่ใช้งานในโหมดสาธารณะจะมีรัศมีครอบคลุมไม่กว้างมากประมาณ 50-300 เมตร ตามแต่ขนาดของสถานีเซลล์ [1] ดังนั้นจึงมีการแพร่

กระจายคลื่นไปตามเส้นทางในระดับแนวสายตา (Line-of-Sight: LOS) และสะท้อนกับอาคารบริเวณข้างถนนแพร่กระจายเข้าไปยังเส้นทางในระดับแนวสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS) ด้วย

การแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องรับที่อยู่ใน NLOS นั้น เส้นทางของคลื่นจะเกิดการสะท้อนกับพื้นผิวของอาคารใน LOS แล้วเข้าไปยัง NLOS กรณีที่มีอาคารอยู่สองข้างถนนใน NLOS เส้นทางของคลื่นจะมีการสะท้อนไปมาระหว่างพื้นผิวของตัวอาคาร ทำให้ระยะทางของคลื่นที่เดินทางจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องรับนั้นเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าลดทอนของสัญญาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

บทความนี้จะนำเสนอทฤษฎีที่มีอยู่แล้วมาใช้คำนวณค่าการลดทอนสัญญาณในเส้นทาง LOS และ NLOS

2. การแพร่กระจายคลื่น

การแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องรับนั้น มีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวสายตา (Line-of-Sight: LOS) และ การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับนอกแนวสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS)

2.1 การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวสายตา (Line-of-Sight: LOS) [2]

ในการพิจารณาค่าการสูญเสียของสัญญาณที่ระยะทางต่างๆ นั้น Okumura [3] ได้นำเสนอเส้นกราฟเพื่อทำนายจากการวัด ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของสายอากาศและระยะครอบคลุมของเซลล์ ซึ่งต่อมา Hata [4] ได้นำข้อมูลของ Okumura มาเปลี่ยนเป็นสมการที่ง่ายสำหรับการใช้งาน โดยกำหนดให้ค่าสูญเสียในเส้นทางเฉลี่ย ที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ d แปรผันตามสัดส่วนระหว่าง d กับระยะทางอ้างอิง d_0 ยกกำลัง n

$$L_p(d) \propto \left(\frac{d}{d_0}\right)^n \tag{1}$$

ซึ่งโดยทั่วไปจะเขียนในรูปแบบของเดซิเบลดังนี้

$$L_p(d) = L(d) + n \cdot 10 \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \tag{2}$$

ระยะทางอ้างอิง d_0 นั้นจะเป็นจุดที่ไกลออกไปจากสายอากาศ ซึ่งค่า d_0 นั้นจะมีค่าเท่ากับ 1 กิโลเมตรสำหรับมาโครเซลล์, 100 เมตร สำหรับไมโครเซลล์ และ 1 เมตรสำหรับเซลล์ที่ติดตั้งภายในอาคาร สำหรับค่าของ n จะมีค่าเท่ากับ 2

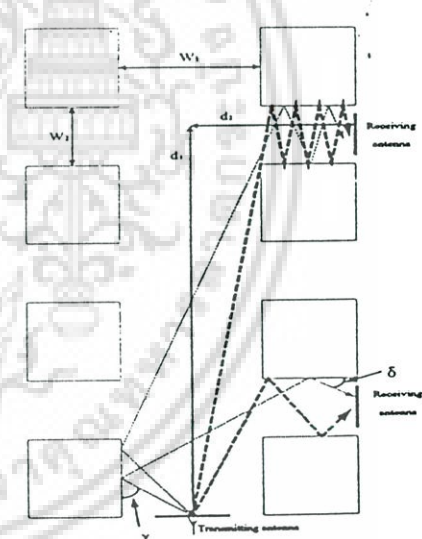
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_p(d) = 20 \log\left(\frac{4\pi f d}{c}\right) \tag{3}$$

ในกรณีของ LOS ค่าการสูญเสีย $L_p(d_0)$ ที่ระยะทางอ้างอิง d_0 แสดงตามสมการที่ (3) โดยที่ λ คือค่าความยาวคลื่นที่ใช้งาน

2.2 การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับนอกแนวสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS) [5]

การสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทาง NLOS ของไมโครเซลล์ เนื่องจากอาคารต่างๆ ที่อยู่ในบริเวณเส้นทางการเดินทางของคลื่น ทำให้คลื่นที่เดินทางในแนว LOS ตามระยะทาง d_1 สะท้อนกับผนังของอาคารแล้วเลี้ยวเบนไปตามแนว NLOS ในระยะทาง d_2



รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองเส้นทางของคลื่นที่เดินทางใน NLOS จากการสะท้อนอาคารในเส้นทาง d_1

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 \frac{R^2}{D^2} \tag{4}$$

ค่ากำลังงานที่รับได้ จากเส้นทางของคลื่นหนึ่งเส้นทางที่เดินทางในระยะทาง d_2 จะหาได้จากสมการที่ (4) โดยที่ค่าของ R คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนรวมทั้งหมดของหนึ่งเส้นทางคลื่น

$$R = R^N(\gamma) \delta \quad (5)$$

สำหรับสนามไฟฟ้าที่ตั้งฉากกับแนวคทกกระทบ

$$R(\phi = \frac{s}{s} \frac{i\phi \pi - \sqrt{\epsilon_r} c^2 \phi s}{i\phi \pi + \sqrt{\epsilon_r} c^2 \phi s}) , \phi = \gamma \cdot \delta \quad (6a)$$

โดยที่

$$\epsilon = \epsilon_r - j60\sigma\lambda \quad (6b)$$

สมการ (4)-(6) ใช้สำหรับเส้นทางของคลื่นหนึ่งเส้นทาง ค่าของ R_i, D_i โดย $i = 1...k$ (k คือจำนวนเส้นทางของคลื่น) จะเปลี่ยนไป ตาม N, M, γ, δ ของเส้นทางนั้นๆ โดยในที่นี้

γ คือ มุมที่สะท้อนระหว่างเส้นทางของคลื่นกับพื้นผิวที่สะท้อนในเส้นทาง LOS

δ คือ มุมที่สะท้อนระหว่างเส้นทางของคลื่นกับพื้นผิวที่สะท้อนในเส้นทาง NLOS

N คือ จำนวนครั้งของการสะท้อนในเส้นทาง LOS

M คือ จำนวนครั้งของการสะท้อนในเส้นทาง NLOS

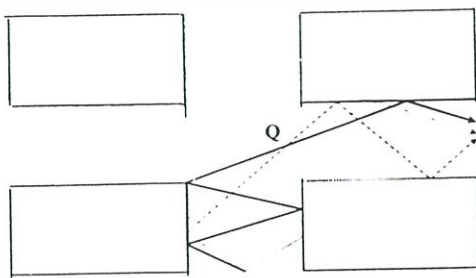
D คือ ระยะเส้นทางของคลื่น

P_t คือ กำลังงานของเครื่องส่ง

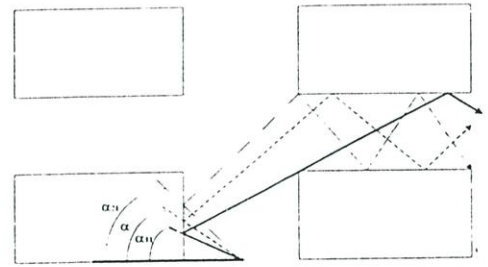
P_r คือ กำลังงานที่รับได้ที่เครื่องรับ

ϵ_r คือ สภาพยอมสัมพัทธ์ของตัวสะท้อนคลื่น

σ คือ สภาพนำของตัวสะท้อนคลื่น (simen/meter)



รูปที่ 2 แสดงเส้นทางของคลื่นที่ผ่านจุด Q



รูปที่ 3 แสดงมุมสะท้อน α_{21} และ α_{11}

ในการทำแบบจำลองเส้นทางของคลื่นที่เข้าไปยังเส้นทาง NLOS ให้ง่ายขึ้น จากรูปที่ 2 จุด Q คือ ตัวอย่างจุดที่เส้นทางของคลื่นรวมกันก่อนมุมเลี้ยวแล้วผ่านเข้าไปยังเส้นทาง NLOS โดยที่รูปที่ 3 จะแสดงตัวอย่างมุม α_{21}, α_{11} ซึ่งเป็นมุมที่มากที่สุดและน้อยที่สุดที่สะท้อนในเส้นทาง d_1 เพียงครั้งเดียวแล้วเข้าไปยังเส้นทาง NLOS ตามลำดับ และมุม α เป็นมุมสะท้อนของเส้นทางของคลื่นที่ผ่านจุด Q ซึ่งคาดหมายว่าเส้นทางของคลื่นเหล่านั้นจะไปถึงยังเครื่องรับ ระยะทางและมุมตกกระทบของเส้นทางคลื่นที่ผ่านจุด Q ซึ่งแพร่กระจายตามเส้นทาง NLOS จะประมาณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ ϕ_i โดย α_{21}, α_{11} เป็นมุมที่มากที่สุดและน้อยที่สุดของเส้นทางของคลื่นที่ผ่านจุด Q

$$\phi_i = \frac{\alpha_{2i} - \alpha_{1i}}{\pi} , i = 1, 2 \dots \quad (7)$$

ค่าสัมประสิทธิ์ ϕ_i คือสัดส่วนของจำนวนเส้นทางของคลื่นที่เข้าไปยังเส้นทาง NLOS โดยที่ $\phi_i \leq 1$ ค่าสัมประสิทธิ์เดียวกัน ใช้คำนวณแต่ละเส้นทางของคลื่นที่ผ่านจุด Q ในรูปที่ 2 สำหรับเส้นทางของคลื่นที่ไม่สะท้อนใน LOS $\phi_i = 1$ สมการค่าสูญเสียเฉลี่ย L_r สำหรับแบบจำลองเส้นทาง NLOS คือ

$$L_r = \left| 1 - \prod_{i=1}^k \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \frac{R_i^2}{D_i^2} \phi_i \right| , \phi_i \leq 1 \quad (8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเครื่องรับเคลื่อนที่ไปตามเส้นทาง NLOS สมการของค่าสูญเสียเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

$$L_{n} = L_{F} + A + (10B) \log_{10} \left(\frac{d_2 + d_1}{d_1} \right) \quad (9)$$

โดยค่า L_F สามารถคำนวณได้จากสมการการแพร่กระจายคลื่นในอวกาศว่าง (free space) คือ

$$L_F = 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi d_1} \right) \quad (10)$$

ในที่นี้

L_n คือ ค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS

A คือ ค่าลดทอนจากมุมอาคารหาได้จากค่า L_r

$A = L_r$ (หลังจากมุมเหลี่ยมของอาคาร) - L_r (ก่อนมุมเหลี่ยมของอาคาร)

B คือ ค่าความชันในเส้นทาง NLOS

d_1 คือ ระยะทางจากสถานีเซลล์ถึงมุมเหลี่ยม

d_2 คือ ระยะทางตามเส้นทาง NLOS

k คือ จำนวนเส้นทางของคลื่น

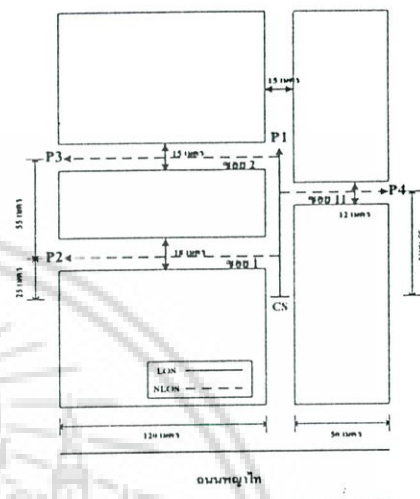
3. การทดลอง

การทดลองในบทความนี้นั้นจะใช้บริเวณพื้นที่ของสยามสแควร์ โดยมีเส้นทางทดสอบตามรูปที่ 4 ทำการวัดสัญญาณสถานีเซลล์ขนาดกำลังส่ง 20 mW ที่ใช้สายอากาศแบบ omni directional เกิน 4 dBi โดยใช้เครื่องมือวัดสัญญาณระบบ PHS วัดสัญญาณจากช่องสัญญาณควบคุม (Control Channel: CCH) ช่องที่ 75 ความถี่ 1917.35 MHz [1] โดยเก็บค่าทุกๆ 1 เมตร

ทำการพล็อตกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการวัดกับผลที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ (2) ในกรณีเส้นทาง LOS และสมการที่ (5) ถึง (10) ในกรณีเส้นทาง NLOS

โดยในเส้นทาง P1 นั้นเป็นเส้นทาง LOS มีระยะทาง $d_1 = 80$ เมตร เส้นทาง P2, P3, P4 เป็นเส้นทาง NLOS โดย

เส้นทาง P2 มีระยะทาง $d_1 = 25$ เมตร, $d_2 = 90$ เมตร เส้นทาง P3 มีระยะทาง $d_1 = 80$ เมตร, $d_2 = 60$ เมตร เส้นทาง P4 มีระยะทาง $d_1 = 55$ เมตร, $d_2 = 50$ เมตร



รูปที่ 4 แสดงเส้นทางในการทดสอบ

การคำนวณค่าลดทอนสัญญาณในสมการที่ (2) กรณีเส้นทาง LOS นั้น จะใช้ค่า $d_0 = 100$ เมตร เพิ่มค่า d ครั้งละ 1 เมตร ตามระยะทาง LOS ของแต่ละเส้นทาง และใช้ค่าความถี่ 1917.35 MHz

การคำนวณจากสมการที่ (5)-(8) นั้นจะใช้ค่า $\epsilon_r = 3$ [6], ค่า $\sigma = 100$ (สำหรับอาคาร $\sigma \gg 1$) [7] ความถี่ใช้ที่ 1917.350 MHz และค่าตัวแปรต่างๆ ตามตารางที่ 1 ซึ่งได้มาจากการสร้างแบบจำลองเส้นทางของคลื่นจำนวน 2 เส้นทาง (Ray No.1,2) ที่เดินทางตามเส้นทางในรูปที่ 4

ตารางที่ 1 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณ

Ray No.	เส้นทาง P2		เส้นทาง P3		เส้นทาง P4	
	1	2	1	2	1	2
γ	0°	40°	0°	15°	0°	22°
δ	75°	50°	85°	75°	81°	67°
N	0	1	0	1	0	1
M	11	3	28	13	32	9
D	224	110 m	507	277 m	447	183 m
ϕ_i	1	0.1166	1	0.0167	1	0.3722

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

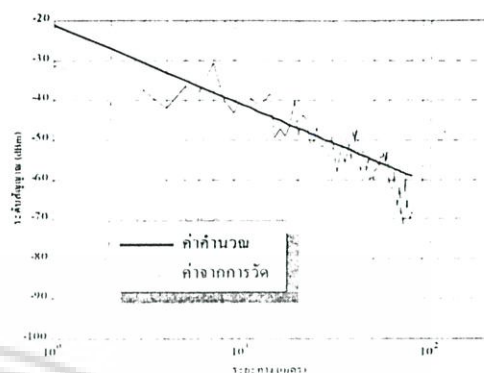
ตารางที่ 2 แสดงค่าลดทอนจากมุมอาคารที่คำนวณได้

เส้นทาง	L_r (หลังมุมเลี้ยว)	L_r (ก่อนมุมเลี้ยว)	A
P2	23.5376 dB	6.1 dB	17.4376 dB
P3	32.4610 dB	16.82 dB	15.6410 dB
P4	26.3093 dB	11.043 dB	15.2663 dB

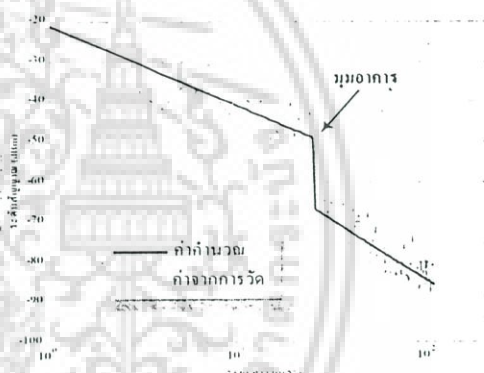
จากผลการคำนวณที่ได้จากตารางที่ 2 ค่าสูญเสียในเส้นทาง NLOS (L_r (หลังมุมเลี้ยว)) ในเส้นทาง P3 จะมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากมีระยะทาง d_1 โกลที่สุดทำให้เส้นทางของคลื่นสะท้อนกับตัวอาคารในเส้นทาง NLOS มีมุม ϕ กว้างกว่าเส้นทาง P2 และ P4 ส่งผลให้จำนวนครั้งในการสะท้อนมาก (ดูจากตัวอย่างรูปที่ 1) ระยะเส้นทางของคลื่นที่เดินทางใน NLOS จึงเพิ่มมากขึ้นเมื่อรวมกับที่เดินทางใน LOS ค่าของ D จึงเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดค่าสูญเสียสูงขึ้นไปตามไปด้วย แต่จากตารางที่ 1 ค่า M เส้นทางของคลื่นเดินที่ 1 (Ray No.1) ในเส้นทาง P4 มากกว่าเส้นทาง P3 โดยที่ d_1 โกลน้อยกว่าเป็นเพราะว่าระยะความกว้างถนน W_2 แคบกว่าทำให้เกิดจำนวนครั้งในการสะท้อนกับอาคารในเส้นทาง NLOS มาก แต่เมื่อรวมระยะเส้นทางของคลื่นจาก LOS แล้วค่า D ในเส้นทาง P3 ก็ยังคงมากกว่า ดังนั้นจึงทำให้ L_r (หลังมุมเลี้ยว) ของ P3 สูงกว่า P4

จากค่าการลดทอนจากมุมตึก A ในตารางที่ 2 ค่าของ A ในเส้นทาง P2 จะมีค่าสูงที่สุดเนื่องมาจากเส้นทางของคลื่นสะท้อนกับตัวอาคารใน NLOS ด้วยค่า W_2 กว้างที่สุด ส่งผลให้ผลต่างระหว่าง L_r (หลังมุมเลี้ยว) กับ L_r (ก่อนมุมเลี้ยว) มีค่ามาก สำหรับกรณีของเส้นทาง P3 กับ P4 ที่มีเส้นทางของคลื่นสะท้อนอาคารใน LOS ด้วยค่า W_1 ที่เท่ากัน ค่า A จะมีค่าใกล้เคียงกันทั้งที่ระยะทาง d_1 ของ P3 โกลกว่า P4 เป็นเพราะว่า W_2 ของเส้นทาง P4 แคบกว่าทำให้ค่า M มากขึ้น ส่งผลให้ระยะทางของคลื่นที่เดินทางใน NLOS จึงโกลขึ้น ผลต่างระหว่าง L_r (หลังมุมเลี้ยว) กับ L_r (ก่อนมุมเลี้ยว) เส้นทาง P4 จึงใกล้เคียงกับเส้นทาง P3

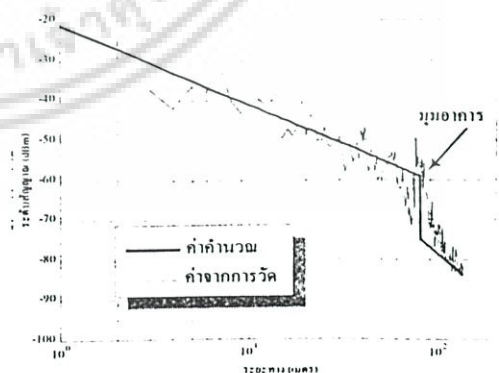
นำค่า A ที่ได้จากตารางที่ 2 มาคำนวณหาตัว L_n ตามสมการที่ (9) โดยใช้ค่าสโลป $B = 4$ [8] เพื่อพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงในเส้นทาง NLOS



รูปที่ 5 แสดงระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (2) ในเส้นทาง P1 (LOS)

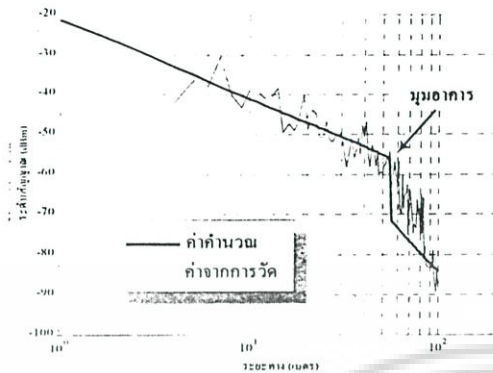


รูปที่ 6 แสดงระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (9) ในเส้นทาง P2 (NLOS)



รูปที่ 7 แสดงระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (9) ในเส้นทาง P3 (NLOS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8 แสดงระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (9) ในเส้นทาง P4 (NLOS)

รูปที่ (5) แสดงให้เห็นระดับของสัญญาณในเส้นทาง LOS เพื่อเปรียบเทียบกับเส้นทาง NLOS ในรูปที่ (6) ถึงรูปที่ (8) จะเห็นได้ว่าหลังจากมุมเงี้ยวของอาคารระดับของสัญญาณที่รับได้จะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการบังของตัวอาคาร และในเส้นทาง NLOS นั้นเส้นทางจะมีความชันมากกว่าในเส้นทาง LOS เนื่องมาจากการเส้นทางของคลื่นสะท้อนกับตัวอาคารทำให้ระยะทางในการเดินทางเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ค่าการลดทอนสูงขึ้นด้วย

จากรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่าจุดของสถานีเซลล์ที่ใช้พิจารณาจะอยู่บริเวณกึ่งกลางถนนเหตุผลเพราะจะได้สร้างแบบจำลองเส้นทางของคลื่นได้ง่าย ซึ่งในความเป็นจริงการติดตั้งสถานีเซลล์จะติดตั้งบริเวณริมถนน แต่การเลื่อนจุดของสถานีเซลล์จากกึ่งกลางถนนเข้ามามีถนนนั้นมุมเส้นทางของคลื่นที่ตกกระทบกับอาคารใน NLOS จะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และในการเปลี่ยนความสูงของสถานีเซลล์จะมีผลเฉพาะกับเส้นทาง LOS แต่ในเส้นทาง NLOS นั้นมุมตกกระทบและระยะทางเส้นทางของคลื่นก็จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเช่นกัน ทำให้ไม่ส่งผลกับค่าลดทอนจากมุมตึก [5]

4. สรุปผล

จากผลการทดลอง ระดับสัญญาณที่รับได้จะลดลงอย่างรวดเร็วภายหลังจากมุมเงี้ยวของอาคาร และมีค่าความชันกว่าในเส้นทาง LOS ซึ่งเป็นผลมาจากการสะท้อนของเส้นทางคลื่น จากผลการคำนวณในกรณี NLOS นั้นสิ่งที่มีผล

กระทบกับค่าลดทอนของสัญญาณเป็นอย่างมากก็คือความกว้างของถนน ในการเพิ่มความสูงของสถานีเซลล์จะมีผลเฉพาะกับเส้นทาง LOS เท่านั้น แต่ไม่มีผลกระทบต่อเส้นทาง NLOS มากนัก ดังนั้นในการปรับปรุงสถานีเซลล์ควรเพิ่มกำลังส่งหรือเปลี่ยนแกนของสายอากาศให้สูงขึ้น

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Telecom training Department-TT&D, "PCT Network Introduction," Version 3, November 26, 1997.
- [2] B. Sklar, "Rayleigh fading channels in mobile digital communication system Part I: Characterization," IEEE Communications Magazine, Vol. 35, pp. 90-93, July 1997.
- [3] 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.
- [4] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service," IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. VT-29, August 1990.
- [5] V. Erceg, S. Ghassemzadeh, M. Taylor, D. Li and D. L. Schilling, "Urban/Suburban out-of-sight propagation modeling," IEEE Communication Magazine, Vol. 30, pp. 56-61, June 1992.
- [6] N. Papadakis, Athanasios G. Kanatas and P. Constantinou, "Microcellular propagation measurement and simulation at 1.8 GHz in urban radio environment," IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 47, No. 3, pp. 1025, Aug. 1998.
- [7] W. C. Y. Lee, Mobile Communications Engineering, McGraw Hill, 1982, pp. 93.
- [8] J. B. Andersen, T. S. Rappaport and S. Yoshida, "Propagation measurements and models for wireless communications channels," IEEE Communication Magazine, Vol. 33, pp. 46, Jan. 1995.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Invited Paper

- การทำนายสัญญาณกำลังในช่องสัญญาณเฟดดิ้งแบบเรย์ลีโดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์ก 273
 วาทิต เบนจพลกุล, พงศ์ภพ ฤดิษฐ์

Full Paper

- การวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับทรานซัพฟิกร์ของสัญญาณวิทยุ 281
 ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคล (PCT) โดยพิจารณาความหนาแน่นของช่องสัญญาณวิทยุตามพื้นที่
 อำนาจ ยิ้มสวัสดิ์, ไกรสิน ส่งวัฒนา
- การพัฒนากระบวนการตรวจสอบและประมวลผลสถิติการเยี่ยมชมเว็บไซต์ในประเทศไทย 289
 จารุวรรณ ละอองมัลย์, สิทธิชัย สีลาพันธ์, ปิยะ ตันตวิเชียร
- การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมฟัซซี่สำหรับกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ 307
 อรรถพล กันทเวก, สุธี ผู้เจริญนะชัย
- Pronunciation Variation Speech Recognition Without New Dictionary Construction 317
 Supphanat Kanokphara, Virongrong Tesprasit, Rachod Thongprasit
- Development of Grid Generation Software 322
 Pitiya Namwong, Varangrat Juntasaro
- การวัดซอฟต์แวร์เชิงวัตถุ 332
 นงเยาว์ จินดาสวัสดิ์, นครทิพย์ พร้อมพูลเชษฐ, พัฒโนทัยพรศิริ หมั่นไชยศิริ

Reprinted Paper

- A Reconfigurable Thin Film Filter-Based 2x2 Add-Drop Fiber-Optic Switch Structure 347
 Sarun Sumriddetchkajorn, Khunat Chaitavon
- Improving Translation Quality of Rule-based Machine Translation 351
 Paisarn Charoenpornasawat, Virach Sornlertlamvanich, Thatsanee Charoenporn
- A Cross System Machine Translation 357
 Thepchai Supnithi, Virach Sornlertlamvanich, Thatsanee Charoenporn

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

มีการแก้ไขที่ 13 ฉบับที่ 13 เดือน มีนาคม - มิถุนายน 2546 และที่ 13 ฉบับที่ 13 เดือน มีนาคม - มิถุนายน 2546

การวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับทราฟฟิกของสัญญาณวิทยุของระบบโทรศัพท์พื้นฐาน
พกพาส่วนบุคคล (PCT) โดยพิจารณาความหนาแน่นของช่องสัญญาณวิทยุตามพื้นที่
An analysis radio channel traffic handling capacity of a Personal Communication
Telephone (PCT) system by considering the radio channel density (per unit area)

อำนาจ ยิ้มสวัสดิ์

ไกรสิน ส่งวัฒนา

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ABSTRACT -- This papers presents an analysis radio channel of traffic handling capacity of a Personal Communication Telephone (PCT) system by considering the radio channel density (number of channel available and number of channel used per unit area) with respect to coverage area. We have measured the traffic capacity density at every point in the sample coverage area and plotted against the traffic used at peak hour for the sample area. The result is used to determine if the existing capacity is enough to cover the required usage. This process helps to fine-tune cell station design requirement as well as the CS placement location.

KEY WORDS – PHS, Traffic capacity, Radio network optimization

บทคัดย่อ -- บทความนี้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับทราฟฟิกของสัญญาณวิทยุของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT) โดยพิจารณาความหนาแน่นของช่องสัญญาณวิทยุตามพื้นที่ โดยทำการวัดระดับสัญญาณของสถานีลูกข่าย (CS: Cell Station) ที่สามารถใช้งานได้ เพื่อหาความหนาแน่นของช่องสัญญาณในแต่ละจุด และนำค่าความจุทราฟฟิกที่ได้จากจำนวนช่องสัญญาณกับทราฟฟิกที่ใช้งานจริงมาทำการพล็อตกราฟร่วมกันเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบ ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบทำให้เราทราบว่าที่บริเวณต่างๆ ของพื้นที่มีปริมาณความจุทราฟฟิกเพียงพอต่อการใช้งานหรือไม่ ซึ่งจะช่วยให้สามารถออกแบบในการติดตั้ง CS เพิ่มเติมได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ – PHS, ความจุทราฟฟิก, ความเหมาะสมของโครงข่ายช่องสัญญาณวิทยุ

1. บทนำ

ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT (Personal Communication Telephone) [1,2] ที่ให้บริการในประเทศไทยปัจจุบันนี้ เป็นระบบที่พัฒนามาจากเทคโนโลยีของระบบ PHS ที่ใช้งานอยู่ในประเทศญี่ปุ่น โดยให้บริการเลขหมายเดียวกับ โทรศัพท์พื้นฐาน ซึ่งสามารถใช้งานได้ทั้งในบ้าน พื้นที่สาธารณะและในรถยนต์ที่มีความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นอกจากนั้นยังสามารถใช้ในอาคารสำนักงานต่างๆ ได้ แต่ต้องมีการติดตั้งสถานีลูกข่าย (CS: Cell Station) ภายในอาคารด้วย ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT จะใช้งานที่คลื่นความถี่ 1,900 MHz (1,895-1,918 MHz) และมีลักษณะของ CS

แบบไมโครเซล ซึ่งมีรัศมีครอบคลุมแต่ละเซลประมาณ 50-300 เมตร ขึ้นอยู่กับชนิดของ CS [1] ดังนั้นจึงจำเป็นต้องติดตั้ง CS จำนวนมากเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการได้ทั้งหมด

ในกระบวนการข้ามเซลของระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT) จะใช้เทคนิคที่เรียกว่าแฮนด์โอเวอร์ [2] ซึ่งระดับสัญญาณของ CS ตัวใหม่ที่มารองรับการแฮนด์โอเวอร์อิน (Handover In) จะต้องมียกระดับของสัญญาณเริ่มตั้งแต่ 30dBμV [2] ขึ้นไป ดังนั้น CS ที่สามารถใช้งานได้จะต้องมียกระดับความแรงของสัญญาณที่เครื่อง PCT รับได้ในแต่ละจุดตั้งแต่ 30dBμV ขึ้นไป เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างต่อเนื่องเมื่อเกิดกรณีแฮนด์โอเวอร์

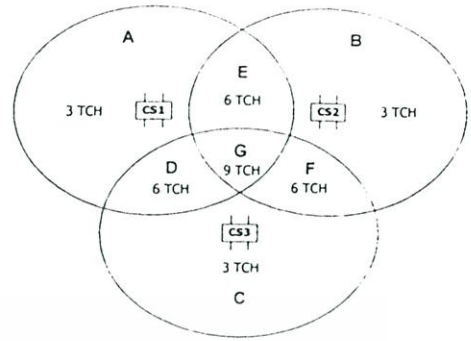
เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบปริมาณการใช้งานของ CS ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคล PCT จะดูที่ปริมาณทราฟฟิก และค่าระดับการบริการ (Grade Of Service) ที่ช่องสัญญาณ Traffic Channel (TCH) ซึ่งเป็นช่องที่ใช้ส่งเสียงและข้อมูลว่ามีการใช้งานเกินกว่าที่กำหนดเป็นประจำหรือไม่ เพื่อใช้พิจารณาติดตั้ง CS เพิ่มเติมในจุดที่ใช้งานเกิน โดยปกติแล้วเมื่อ Traffic Channel ทุกช่องของ CS ณ จุดที่ใช้งานสูงถูกใช้งานเครื่อง PCT ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมยังสามารถจับ CS ตัวข้างเคียงที่มีระดับความแรงของสัญญาณเพียงพอ และมี Traffic Channel ที่ว่างใช้งานได้ ทำให้การพิจารณาติดตั้ง CS เพิ่มเติมโดยวิธีนี้อาจจะยังไม่มีความเหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่

ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับทราฟฟิกในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคล (PCT) โดยพิจารณาความหนาแน่นของช่องสัญญาณวิทยุตามพื้นที่ (ทดสอบที่บริเวณสยามสแควร์) ซึ่งเป็นวิธีในการแก้ปัญหาจากวิธีเดิมที่ดูปริมาณการใช้งานที่ CS แต่ละตัว โดยไม่ได้มองดูความจุทราฟฟิกตามพื้นที่ทำให้เมื่อเพิ่มเติม CS ลงไปแล้ว การจับใช้งานจากเครื่อง PCT อาจจะไม่มากอย่างที่คิด วิธีการที่นำเสนอนี้ยังจะช่วยในการพิจารณาดำเนินการเพิ่มหรือลด CS ในพื้นที่ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

2. หลักการวิเคราะห์ทราฟฟิกของ PCT Cell Station ต่อหน่วยพื้นที่

การกำหนดช่องสัญญาณ Traffic Channel ของ CS เพื่อให้กับ PS ในการติดต่อสื่อสารนั้น มีกระบวนการคานนี้คือ เมื่อมีการร้องขอใช้ช่องสัญญาณจาก PS ผ่านช่องสัญญาณควบคุม (Control Channel) ที่เรียกว่า Signaling Control Channel (SCCH) [1] CS จะตรวจสอบ PS ว่าเป็นตัวที่ได้รับอนุญาตอย่างถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้อง CS จะดูว่ามีช่องสัญญาณ Traffic Channel ของตัวเองว่างหรือไม่ ถ้ามีก็จะกำหนดให้ PS ใช้งานกรณีที่ไม่ว่าง และ PS สามารถรับสัญญาณจาก CS ตัวอื่นได้ก็จะทำการแฮนด์โอเวอร์ โดยที่ PS จะทำการตรวจจับสัญญาณของ CS ที่มี ความแรงของสัญญาณ (>30dBμV) ลำดับถัดไป เมื่อหาได้แล้วก็จะยกเลิกการสื่อสารกับ CS ตัวเดิมและจับใช้งาน CS ตัวใหม่เพื่อร้องขอใช้ Traffic Channel ต่อไป [1,2] ดังนั้นเมื่อ PS ที่อยู่ในพื้นที่บริการ (Service Area) ของ CS ตัวหนึ่งตัวใดนั้น ไม่จำเป็นว่าจะต้องจับใช้งาน CS ตัวนั้นเพียงตัวเดียวเสมอไป แต่ยังมีโอกาสใช้งาน CS ตัวอื่นๆ ได้ ถ้ามีระดับสัญญาณที่เพียงพอ



รูปที่ 1. แสดงตัวอย่างพื้นที่ที่ครอบคลุมของการติดตั้ง CS จำนวน 3 ตัว

จากหลักการนี้ จะเห็นได้ว่าจำนวนช่องสัญญาณที่ PS ใช้งานได้จะมีความความสัมพันธ์กับจำนวนของ CS ที่สามารถรับสัญญาณได้ แสดงดังตัวอย่างในรูปที่ 1

ในรูปที่ 1 เป็นตัวอย่างพื้นที่ที่ครอบคลุมของการติดตั้ง CS จำนวน 3 ตัว เมื่อพิจารณาบริเวณพื้นที่นี้เราจะเห็นได้ว่ามีส่วนที่ซ้อนทับกันระหว่างพื้นที่ที่ครอบคลุมของ CS แต่ละตัวที่มีความแตกต่างกัน ทำให้แต่ละบริเวณก็จะมีจำนวนของช่องสัญญาณที่แตกต่างกันด้วย ดังนั้นการหาปริมาณความจุ ทราฟฟิกในพื้นที่สามารถหาได้จากจำนวนของช่องสัญญาณในแต่ละบริเวณซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับค่าของ GOS ที่ต้องการ โดยดูค่าของทราฟฟิกได้จากตาราง Erlang-B PCT Cell Station 1 ตัวนั้น จะมีช่องสัญญาณ Traffic Channel อยู่ทั้งหมด 3 ช่อง ดังนั้นจากรูปที่ 1 ถ้ากรณี ที่ CS1, CS2, CS3 ไม่ได้ถูกใช้งาน พื้นที่ A,B,C จะมีความหนาแน่นของช่องสัญญาณ 3 ช่อง หรือมีความจุทราฟฟิก 0.899 Erl ที่ GOS=0.05 พื้นที่ D,E,F จะมีความหนาแน่นของช่องสัญญาณ 6 ช่องหรือมีความจุทราฟฟิกเท่ากับ 2.96 Erl ที่ GOS=0.05 และในพื้นที่ G จะมีความหนาแน่นของช่องสัญญาณ 9 ช่อง หรือมีความจุทราฟฟิกเท่ากับ 5.37 Erl ที่ GOS=0.05 แต่ถ้า CS1,CS2,CS3 มีการใช้งาน ความสามารถในการรองรับทราฟฟิกก็จะลดลงตามปริมาณของการใช้งาน

สมมุติตัวอย่างปริมาณทราฟฟิกในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนของ CS ในรูปที่ 3 มีการใช้งานดังนี้คือ $A_{CS1} = 0.74$ Erl, $A_{CS2} = 0.24$ Erl และ $A_{CS3} = 0.8$ Erl ดังนั้นในพื้นที่ A ถึง G จะมีทราฟฟิกตามนี้คือ ปริมาณทราฟฟิกในพื้นที่ $A = A_{CS1} = 0.74$ Erl, ปริมาณ ทราฟฟิกในพื้นที่ B $= A_{CS2} = 0.24$ Erl, ปริมาณทราฟฟิกในพื้นที่ C $= A_{CS3} = 0.8$ Erl, ปริมาณทราฟฟิกในพื้นที่ D $= A_{CS1} + A_{CS3} = 1.54$ Erl, ปริมาณทราฟฟิกในพื้นที่ E $= A_{CS1} + A_{CS3} = 0.98$ Erl, ปริมาณ ทราฟฟิกในพื้นที่ F $= A_{CS2} + A_{CS3} = 1.04$ Erl และ ปริมาณทราฟฟิกในพื้นที่ G $= A_{CS1} + A_{CS2} + A_{CS3} = 1.78$ Erl ซึ่งเมื่อเทียบกับความจุทราฟฟิกของแต่ละพื้นที่จะเห็นได้ว่าปริมาณทราฟฟิกที่ใช้งาน

ในแต่ละพื้นที่ที่มีค่าน้อยกว่า ดังนั้น CS1,CS2,CS3 ยังสามารถรองรับทราฟฟิกในบริเวณนี้ได้

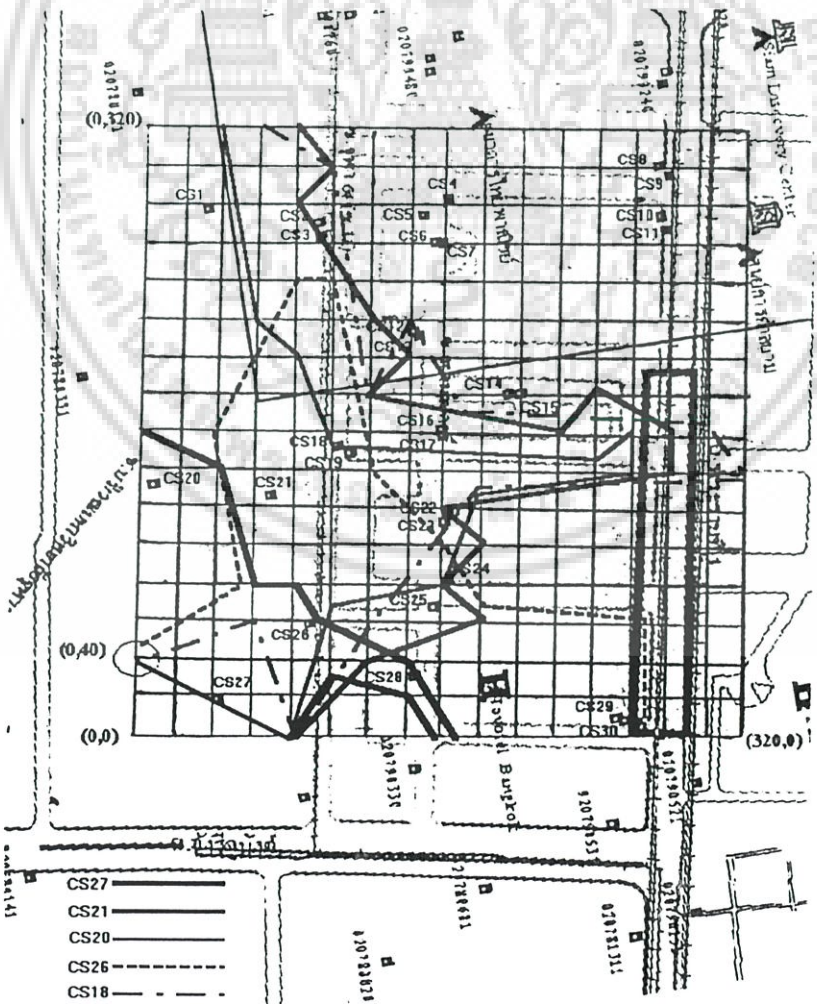
3. ผลการทดสอบ

การทดสอบนั้นจะใช้เครื่องมือวัดสัญญาณชื่อ LEADER 961 ทำการวัดสัญญาณตาม grid ในแผนที่รูปที่ 2 ซึ่งก็จะได้จำนวน CS ที่มีความแรงของสัญญาณตั้งแต่ 30 dBµV ขึ้นไปทำให้ทราบจำนวนช่องสัญญาณในแต่ละจุด

ตัวอย่างของข้อมูลจำนวน CS ที่มีความแรงสัญญาณตั้งแต่ 30 dBµV ขึ้นไปที่วัดได้แสดงในตารางที่ 1 โดยเป็นตัวอย่างข้อมูลที่จุด X = 0 m, Y = 40 m (ดูตามแผนที่ในรูปที่ 2) จากข้อมูลที่ได้จะเห็นได้ว่าที่จุดนี้สามารถใช้งาน CS ได้ทั้งหมด 5 ตัว หรือมีความหนาแน่นของช่องสัญญาณทั้งหมด 15 ช่อง (5 x 3 TCH) ดังนั้นจุดนี้จะมีความจุทราฟฟิก 10.631 Erl ที่ GOS = 0.05 ดูตามตารางที่ 2 ซึ่งในแต่ละจุดก็จะมีค่าความหนาแน่นของ

ช่องสัญญาณที่แตกต่างกันตามจำนวนของ CS ที่มีความแรงของสัญญาณเกิน 30 dBµV ที่จุดนั้นๆ ในพื้นที่

ข้อมูลปริมาณทราฟฟิกที่ใช้งานของ CS แต่ละตัวในตารางที่ 1 จะได้จากฐานข้อมูลของระบบบริหารโครงข่าย (NMS: Network Management System) ซึ่งจะเก็บข้อมูลทราฟฟิกที่ใช้งานในแต่ละชั่วโมงทุกวันของ CS ทุกตัวไว้ โดยข้อมูลที่นำมาแสดงจะเป็นปริมาณทราฟฟิกตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม 2544 ถึง วันที่ 5 ตุลาคม 2544 ช่วงเวลา 12.00-13.00 น. ซึ่งเป็นช่วงชั่วโมงเร่งด่วนของระบบ PCT ในพื้นที่บริเวณสยามสแควร์จากการตรวจสอบของระบบ NMS จากนั้นนำ ทราฟฟิกรวมแต่ละวันมาทำการหาค่าเฉลี่ยก็จะ ได้ข้อมูลปริมาณทราฟฟิกที่ใช้งานจริงเฉลี่ยที่จุดนี้ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.818 Erl ดูตามตารางที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2. แสดงแผนผังตำแหน่ง CS และตัวอย่างพื้นที่ที่ครอบคลุมของ CS ภายในพื้นที่บริเวณสยามสแควร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1. แสดงตัวอย่างข้อมูลการใช้งานที่จุด $X = 0\text{ m}, Y = 40\text{ m}$

CS	POWER (dBμV)	ปริมาณกราฟฟิก 01/ต.ก./2544	ปริมาณกราฟฟิก 02/ต.ก./2544	ปริมาณกราฟฟิก 03/ต.ก./2544	ปริมาณกราฟฟิก 04/ต.ก./2544	ปริมาณกราฟฟิก 05/ต.ก./2544	ปริมาณกราฟฟิกเฉลี่ย
CS27	57.0	0.44 Erl	1.28 Erl	0.74 Erl	0.66 Erl	1.93 Erl	
CS21	52.4	1.26 Erl	1.22 Erl	2.00 Erl	2.09 Erl	2.29 Erl	
CS20	40.0	0.78 Erl	0.57 Erl	0.94 Erl	0.94 Erl	0.73 Erl	
CS26	33.9	0.25 Erl	0.32 Erl	0.36 Erl	0.53 Erl	0.19 Erl	
CS18	33.9	0.76 Erl	0.54 Erl	0.80 Erl	1.36 Erl	1.11 Erl	
กราฟฟิกรวม		3.49 Erl	3.93 Erl	4.84 Erl	5.58 Erl	6.25 Erl	4.818 Erl

ตารางที่ 2. แสดงอาร์เรย์ข้อมูลความจุกราฟฟิก

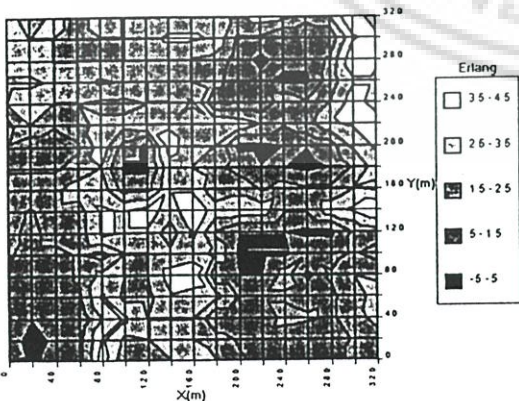
320m	30.656	19.028	27.718	21.901	27.718	24.799	24.799	27.718	27.718	30.656	21.901	30.656	27.718	19.028	24.799	45.527	24.799
300m	27.718	24.799	24.799	21.901	24.799	24.799	30.656	36.570	36.570	33.606	13.383	13.383	5.3701	5.3701	5.3701	33.606	39.545
280m	33.606	30.656	24.799	24.799	24.799	24.799	27.718	27.718	24.799	21.901	10.631	2.96	7.9497	7.9497	16.185	42.533	36.570
260m	21.901	21.901	27.718	27.718	36.570	33.606	24.799	27.718	24.799	19.028	7.9497	7.9497	2.96	2.9597	19.028	33.606	33.606
240m	24.799	33.606	24.799	24.799	21.901	21.901	24.799	24.799	36.570	5.3701	5.3701	5.3701	21.901	16.185	24.799	39.545	30.656
220m	10.631	24.799	16.185	21.901	27.718	27.718	30.656	33.606	27.718	33.606	30.656	24.799	16.185	21.901	33.606	36.570	39.545
200m	13.383	5.3701	5.3701	13.383	30.656	10.631	2.96	39.545	27.718	24.799	2.9597	2.9597	5.3701	5.3701	10.631	27.718	36.570
180m	13.383	13.383	13.383	19.028	24.799	2.9597	2.9597	30.656	24.799	19.028	10.631	5.3701	5.37	2.96	5.3701	16.185	30.656
160m	21.901	21.901	21.901	30.656	30.656	10.631	10.631	33.606	33.606	16.185	21.901	13.383	19.028	16.185	16.185	24.799	21.901
140m	19.028	13.383	21.901	19.028	36.570	33.606	39.545	30.656	42.533	30.656	30.656	30.656	16.185	16.185	30.656	36.570	48.535
120m	19.028	10.631	21.901	19.028	36.570	33.606	33.606	19.028	36.570	13.383	5.3701	5.3701	5.37	2.96	2.96	16.185	21.901
100m	16.185	10.631	10.631	16.185	10.631	24.799	24.799	27.718	30.656	21.901	2.9597	2.9597	2.96	13.383	10.631	16.185	10.631
80m	10.631	7.9497	7.9497	16.185	27.718	24.799	24.799	39.545	42.533	5.3701	5.3701	5.3701	19.028	2.9597	16.185	24.799	21.901
60m	5.3701	5.3701	10.631	13.383	36.570	21.901	21.901	33.606	30.656	27.718	13.383	13.383	13.383	10.631	13.383	19.028	30.656
40m	10.631	5.3701	7.9497	7.9497	24.799	36.570	24.799	24.799	24.799	5.3701	5.3701	7.9497	19.028	16.185	13.383	21.901	27.718
20m	10.631	0.8990	7.9497	10.631	36.570	21.901	24.799	27.718	24.799	19.028	13.383	10.631	7.9497	7.9497	7.9497	16.185	21.901
0m	5.3701	2.9597	10.631	10.631	39.545	16.185	19.028	24.799	33.606	24.799	16.185	10.631	13.383	13.383	13.383	16.185	21.901
0m	20m	40m	60m	80m	100m	120m	140m	160m	180m	200m	220m	240m	260m	280m	300m	320m	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

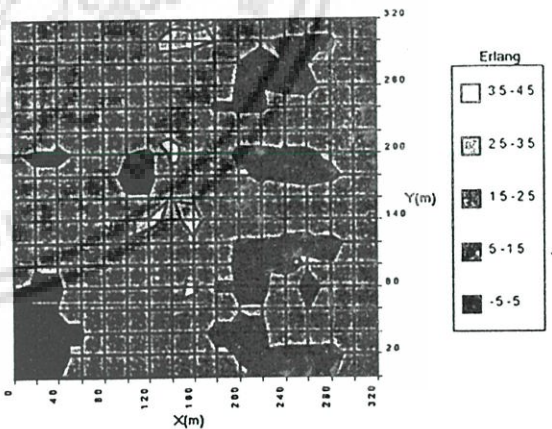
ตารางที่ 3. แสดงอาร์เรย์ข้อมูลปริมาณทราฟฟิกที่ใช้งานจริงเฉลี่ยที่เวลา 12.00 - 13.00 น.

320m	12.936	8.732	11.962	10.136	12.548	10.976	10.976	13.426	13.426	14.308	9.958	13.216	12.098	8.502	9.84	15.206	9.53
300m	11.32	9.868	9.388	10.136	10.92	10.92	13.634	16.734	16.038	14.962	6.45	6.45	3.724	3.724	3.724	10.01	12.812
280m	14.442	13.19	9.388	10.096	10.92	10.91	13.246	12.454	12.182	9.996	5.142	1.76	4.966	4.966	6.516	13.552	11.944
260m	9.838	9.032	11.846	11.264	14.746	13.99	10.976	12.718	11.072	9.342	4.176	4.176	2.132	2.508	8.212	10.718	12.734
240m	10.466	14.806	10.548	11.116	9.754	9.754	11.24	11.24	14.35	3.238	3.238	3.238	9.612	8.534	11.124	11.84	10.712
220m	5.138	10.51	7.226	9.5	12.162	12.162	13.47	14.374	12.314	14.726	13.46	11.73	6.842	9.968	13.234	12.256	11.424
200m	6.188	3.828	3.828	6.188	11.164	5.396	2.426	16.528	12.336	12.06	2.132	2.132	3.886	3.886	6.394	7.796	11.25
180m	6.188	6.188	6.188	8.272	9.84	2.426	2.426	13.256	11.556	9.668	6.49	3.886	3.08	2.408	3.61	7.016	9.448
160m	9.606	9.366	8.926	12.13	12.838	5.748	5.748	14.744	14.356	8.916	10.032	7.816	9.408	8.676	8.018	10.248	8.346
140m	8.596	6.26	9.606	7.172	15.298	14.288	16.418	13.812	16.598	11.938	13.478	13.478	8.47	8.606	12.506	12.146	16.536
120m	8.354	5.142	8.408	7.762	12.98	14.266	11.944	9.92	14.464	7.35	3.768	3.768	3.322	2.72	2.428	7.254	7.452
100m	7.504	5.142	5.142	6.59	4.026	10.824	10.824	12.842	11.554	10.166	2.694	2.694	0.77	6.214	5.104	7.254	6.128
80m	5.142	4.488	4.692	6.662	10.936	11.478	11.478	13.394	15.994	3.464	3.464	3.464	9.36	2.612	7.244	9.542	6.788
60m	3.574	3.574	5.094	6.008	13.822	8.414	9.862	14.016	12.884	9.586	5.466	5.466	6.22	4.954	5.09	8.46	11.086
40m	4.818	3.574	4.302	4.302	10.146	14.054	9.614	8.842	8.994	2.424	2.424	4.026	8.516	7.992	7.662	7.904	9.31
20m	4.558	1.01	4.302	5.752	12.844	7.746	9.298	9.174	8.994	6.492	4.456	3.852	3.194	3.194	3.194	6.912	8.416
0m	3.112	2.782	4.946	5.094	14.006	5.646	6.808	8.526	10.5	9.436	5.714	3.686	4.704	4.704	4.704	6.694	8.394
0m	20m	40m	60m	80m	100m	120m	140m	160m	180m	200m	220m	240m	260m	280m	300m	320m	

ข้อมูลที่ใ้ทุกจุดในตารางที่ 2 และ 3 นำมาทำการพล็อต กราฟรูปที่ 3, 4 และ 5 เพื่อแสดงให้เห็นปริมาณความจุทราฟฟิก ทราฟฟิกที่ใช้งานจริงเฉลี่ย และความจุทราฟฟิกที่เหลือในพื้นที่บริเวณสยามสแควร์ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3. แสดงปริมาณความจุทราฟฟิกของพื้นที่บริเวณสยามสแควร์

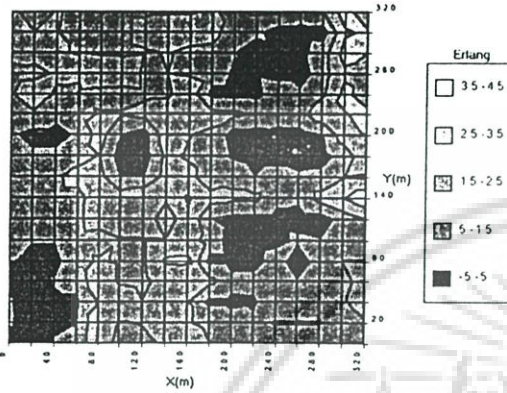


รูปที่ 4. แสดงปริมาณทราฟฟิกที่ใช้งานจริงเฉลี่ยที่เวลา 12.00-13.00 น. ของพื้นที่บริเวณสยามสแควร์

รูปที่ 3 จะแสดงปริมาณความจุทราฟฟิกของพื้นที่บริเวณสยามสแควร์ตามข้อมูลในตารางที่ 2 โดยแต่ละจุดจะแสดงด้วยสีที่มีความเข้มแตกต่างกันตามสเกล โดยจุดที่มีสีเข้มแสดงว่าที่จุดนั้นมีความจุทราฟฟิกค่อนข้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัย จุดที่มีสีจางแสดงว่าที่จุดนั้นมีความจุทราฟฟิกค่อนข้างมาก
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4 จะแสดงปริมาณทราฟฟิกที่ใช้งานจริงเฉลี่ยที่เวลา 12.00-13.00 น. ของ CS ในพื้นที่ ตามข้อมูลในตารางที่ 3 โดยแต่ละจุดจะแสดงด้วยสีที่มีความเข้มแตกต่างกันตามสเกล โดยจุดที่มีสีเข้มแสดงว่าที่จุดนั้นมีการใช้งานค่อนข้างน้อย จุดที่มีสีจางแสดงว่าที่จุดนั้นมีการใช้งานค่อนข้างมาก



รูปที่ 5. แสดงปริมาณความจุทราฟฟิกที่เหลือ

รูปที่ 5 จะแสดงปริมาณความจุทราฟฟิกที่เหลือจากการใช้งาน โดยได้มาจากปริมาณความจุทราฟฟิกลบกับปริมาณ ทราฟฟิกที่ใช้งานจริงเฉลี่ยทุกจุด โดยในแต่ละจุดจะแสดงด้วยสีที่มีความเข้มแตกต่างกันตามสเกล โดย

จุดที่มีสีเข้มแสดงว่าที่จุดนั้นมีความจุทราฟฟิกเหลือสำหรับการใช้งานค่อนข้างน้อย จุดที่มีสีจางแสดงว่าที่จุดนั้นมีความจุทราฟฟิกเหลือสำหรับการใช้งานค่อนข้างมาก

4. ข้อเสนอแนะการปรับปรุงเครือข่าย

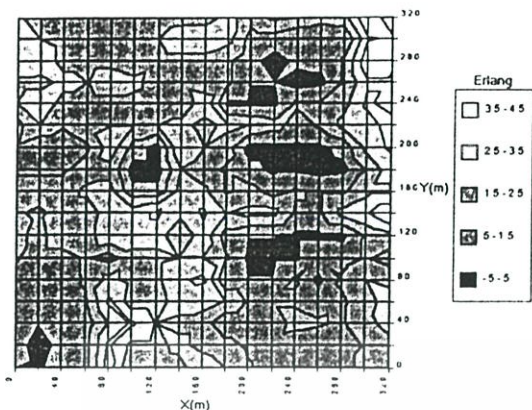
จากผลการทดสอบที่ได้ทำให้สรุปวิธีการปรับปรุงเครือข่าย ให้เหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่ได้ 2 วิธีคือ

4.1 ลด CS ในพื้นที่

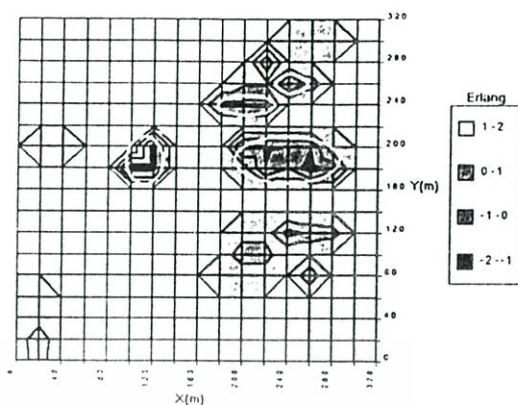
ทดลองลด CS ที่ติดตั้ง ณ จุดเดียวกัน 2 ตัวให้เหลือเพียงตัวเดียว โดยทำการตัด CS ทั้งหมด 3 ตัว คือ CS7, CS13, CS17 ออกจากข้อมูลจำนวน CS ที่มีความแรงของสัญญาณตั้งแต่ 30 dBμV ทุกจุดในพื้นที่ที่มี CS ตามตัวที่ปรากฏอยู่ นำข้อมูลที่ได้ทำการลดจำนวน CS ทั้ง 3 ตัวมาหาค่าความจุทราฟฟิกก็จะได้ตามตารางที่ 4 จากนั้นนำมาทำการพล็อต กราฟรูปที่ 6 เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของความจุทราฟฟิกในพื้นที่ และรูปที่ 7 เพื่อแสดงความจุทราฟฟิกที่เหลือเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้งานจริงหลังจากการลด CS ในพื้นที่

ตารางที่ 4. แสดงอาร์เรย์ข้อมูลความจุทราฟฟิกหลังทำการลด CS

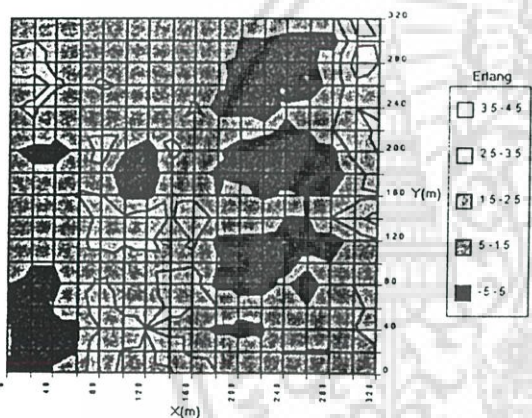
320m	27.718	19.028	24.799	19.028	21.901	19.028	19.028	21.901	19.028	21.901	27.718	19.028	27.718	24.799	19.028	21.901	45.527	24.799
300m	24.799	24.799	21.901	19.028	21.901	21.901	24.799	30.656	30.656	27.718	10.631	10.631	5.3701	5.3701	5.3701	33.606	36.570	
280m	33.606	30.656	21.901	21.901	21.901	19.028	21.901	21.901	21.901	16.185	7.9497	0.8990	7.9497	7.9497	16.185	42.533	36.570	
260m	21.901	21.901	27.718	24.799	30.656	27.718	19.028	21.901	19.028	16.185	5.3701	5.3701	0.8990	2.9597	16.185	33.606	33.606	
240m	24.799	30.656	21.901	21.901	21.901	21.901	19.028	19.028	30.656	2.9597	2.9597	2.9597	16.185	16.185	21.901	36.570	30.656	
220m	10.631	24.799	16.185	21.901	24.799	24.799	24.799	27.718	21.901	27.718	24.799	19.028	10.631	16.185	27.718	30.656	39.545	
200m	13.383	5.3701	5.3701	13.383	30.656	10.631	0.8990	33.606	24.799	19.028	0.8990	0.8990	2.9597	2.9597	7.9497	27.718	36.570	
180m	13.383	13.383	13.383	19.028	21.901	0.8990	0.8990	24.799	19.028	13.383	7.9497	2.9597	2.9597	0.8990	2.9597	16.185	30.656	
160m	19.028	19.028	19.028	27.718	27.718	7.9497	7.9497	27.718	27.718	13.383	19.028	10.631	16.185	13.383	13.383	21.901	21.901	
140m	16.185	13.383	19.028	16.185	33.606	30.656	36.570	27.718	36.570	24.799	27.718	27.718	13.383	13.383	27.718	33.606	45.527	
120m	19.028	10.631	21.901	19.028	33.606	30.656	30.656	16.185	30.656	10.631	5.3701	5.3701	2.9597	2.9597	2.9597	16.185	21.901	
100m	16.185	10.631	10.631	16.185	10.631	21.901	21.901	24.799	24.799	16.185	2.9597	2.9597	2.9597	13.383	10.631	16.185	10.631	
80m	10.631	7.9497	7.9497	16.185	27.718	21.901	21.901	33.606	36.570	5.3701	5.3701	5.3701	16.185	2.9597	16.185	24.799	21.901	
60m	5.3701	5.3701	10.631	13.383	36.570	19.028	19.028	30.656	27.718	24.799	13.383	13.383	13.383	10.631	13.383	19.028	30.656	
40m	10.631	5.3701	7.9497	7.9497	24.799	36.570	24.799	21.901	21.901	5.3701	5.3701	7.9497	19.028	16.185	13.383	21.901	27.718	
20m	10.631	0.8990	7.9497	10.631	36.570	21.901	21.901	27.718	21.901	19.028	13.383	10.631	7.9497	7.9497	7.9497	16.185	21.901	
0m	5.3701	2.9597	10.631	10.631	39.545	16.185	19.028	21.901	30.656	24.799	16.185	10.631	13.383	13.383	13.383	16.185	21.901	
0m	20m	40m	60m	80m	100m	120m	140m	160m	180m	200m	220m	240m	260m	280m	300m	320m		



รูปที่ 6. แสดงปริมาณความจุโทรภาพฟิสิกของพื้นที่บริเวณสยามสแควร์ หลังทำการลด CS



รูปที่ 8. แสดงภาพขยายบริเวณที่มีปริมาณความจุโทรภาพฟิสิกเหลือน้อย



รูปที่ 7. แสดงปริมาณความจุโทรภาพฟิสิกที่เหลือหลังจากทำการลด CS

จากผลการทดสอบในรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าความจุโทรภาพฟิสิกที่เหลือในพื้นที่บริเวณตรงกลางของรูปซึ่งเป็นบริเวณที่ได้ทำการลดจำนวนของ CS ยังสามารถรองรับโทรภาพฟิสิกได้ ดังนั้น CS ทั้ง 3 ตัวคือ CS7, CS13, CS17 สามารถถอดออกได้ซึ่งจะทำให้ประหยัดต้นทุนในการติดตั้ง CS โดยไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานในพื้นที่

4.2 เพิ่ม CS ในพื้นที่

หลังจากทำการลดจำนวนของ CS แล้ว จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่ายังมีบริเวณที่มีปริมาณความจุโทรภาพฟิสิกเหลือน้อย (สีดำ) โดยเฉพาะทางขวามือของรูป เนื่องจากบริเวณนี้จะเป็นส่วนของร้านขายของที่หนาแน่นค่อนข้างจะเป็นจุดอับคลื่น

เพื่อแสดงให้เห็นบริเวณที่มีปัญหาชัดเจนมากยิ่งขึ้นจึงได้ขยายบริเวณที่มีปัญหาจากรูปที่ 7 ขึ้น คมรูปที่ 8

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่ามีจุดที่มีค่าโทรภาพฟิสิกติดลบนั้นคือเป็นจุดที่มีการใช้งานเกินความจุโทรภาพฟิสิก (บริเวณที่วงสีขาว) กรณีเช่นนี้จะทำให้ค่าระดับการบริการ (Grade Of Service) มีค่าเกินที่คั้งไว้ที่ 0.05 หรือ 5% ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาการเรียกไม่ได้ (Lost calls) เพิ่มขึ้น การแก้ปัญหาที่ควรจะต้องติดตั้ง CS ชนิดติดตั้งภายในอาคารเพิ่มเติมบริเวณที่มีปัญหาเพื่อเพิ่มจำนวนช่องสัญญาณให้สามารถรองรับการใช้งานได้

5. บทสรุป

จากผลที่ได้ทำให้สามารถมองเห็นปริมาณความจุโทรภาพฟิสิก และการใช้งานจริงของ CS ในพื้นที่ได้อย่างชัดเจน ทำให้ช่วยพิจารณาการเพิ่มหรือลด CS ให้เหมาะสมกับพื้นที่ และยังสามารถแก้ไขปัญหาคัดค้านที่เกิดขึ้นคือการพิจารณาติดตั้ง CS เพิ่มเติมที่ยังไม่เหมาะสม ซึ่งสามารถนำข้อมูลการใช้งาน ณ เวลาที่ต้องการทราบว่าจะเหมาะสมกับการใช้งานในพื้นที่หรือไม่มาทำการเปรียบเทียบกับความจุโทรภาพฟิสิกที่มีอยู่ได้ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลง CS ในพื้นที่ วิธีการนี้มีข้อจำกัดคือ เมื่อพื้นที่มีบริเวณกว้าง หรือใช้ step ในการวัดที่ถี่ขึ้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความละเอียดและแม่นยำ จะทำให้มีจุดข้อมูลเป็นจำนวนมากซึ่งจะใช้เวลาในการเก็บข้อมูลของ CS และการวัดปริมาณความจุโทรภาพฟิสิกจะต้องทำทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของ CS กำลังงานของ CS หรือเพิ่มลดจำนวน CS ในพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] มนูญ ขวัญสูงเนิน. ความรู้เกี่ยวกับ โครงข่ายโทรศัพท์บ้านพกพา(PCT Network Introduction). กรุงเทพฯ : Telecom Training Department - TT&D Version 3, November 1997.
- [2] ถวิล พึ่งมา, “ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์,” ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541.
- [3] Asia Wireless Communication Co., Ltd. (AWC), Personal Communication Telephone. Specification for Cell Station (Version 1.2)



ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อานาจ ยิ้มสวัสดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 21 มิถุนายน 2520, สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับสอง) สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2542 ปัจจุบันกำลังกำลังศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม



วิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไกรสิน ส่งวัฒนา เกิดเมื่อวันที่ 16 มิถุนายน 2507, สำเร็จการศึกษาระดับ ปริญญาตรี ปริญญาโท และ ปริญญาเอก จาก University of Wisconsin-Madison ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี พ.ศ.2530, 2532 และ 2536 ตามลำดับ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ประจำภาควิชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายอำนาจ ยิ้มสวัสดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 21 มิถุนายน พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดลำพูน สำเร็จการศึกษา ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ จากวิทยาลัยเทคนิคลำพูน ปีการศึกษา 2537 สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ ปีการศึกษา 2539 สำเร็จการศึกษา ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับสอง) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปีการศึกษา 2542 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2543



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้