

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

โมเดลการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จากการวัดบริเวณสี่แยก
ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคล

EMPIRICAL PROPAGATION LOSS MODEL
AT INTERSECTION OF PCT SERVICE



ปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์
PRAMOTE ANUNVRAPONG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 74592
วัน,เดือน,ปี... - 8 ต.ค. 2550

b. 1164592
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2548

ISBN 974-15-1695-9
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2005

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โมเดลการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จากการวัดบริเวณสี่แยกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล
นักศึกษา	นายปราโมทย์ อนันต์วราพงษ์
รหัสประจำตัว	44061701
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ. สมยศ จุณณะปิยะ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จะนำเสนอการออกแบบการวางตำแหน่งสถานีเซลล์ ของระบบโทรศัพท์พื้นฐาน พกพาส่วนบุคคลที่ชี้ที่บริเวณสี่แยก โดยการใช้วิธีพิจารณารูปแบบการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่นที่ได้จากการวัด ซึ่งเป็นวิธีการที่พิจารณาการเกิดการสะท้อนของคลื่นเนื่องมาจากผนัง มุมตึก หรือสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่น โดยทำการจำลองการแพร่กระจายคลื่น บริเวณสี่แยก ซึ่งเป็นบริเวณที่มีปริมาณทราฟฟิกค่อนข้างสูง และมีการหักเหของสัญญาณจากขอบตึกค่อนข้างสูง ผลที่ได้จากการจำลองเหตุการณ์เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการวัดจริง จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอมีความเหมาะสมในการนำไปใช้พิจารณาการติดตั้งสถานีเซลล์แบบบไมโครเซลล์

Thesis Title	Empirical Propagation Loss Model at Intersection of PCT Service
Student	Mr. Pramote Anunvrapong
Student ID.	44061701
Degree	Master of Engineering
Programme	Telecommunications Engineering
Year	2005
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Somyot Junnapiya

ABSTRACT

This research presents the allocated of cell station placement for personal communication telephone (PCT) at the intersection area, by using Empirical Propagation Loss Model, which consider the undergo reflections from ground and wall surfaces and diffraction from corners or rooftops of building. This paper deals with the intersection for simulating the wave propagation since it is the worst case, because these areas have the high traffic and high diffraction from corners or rooftops of building. The results are compared with the measurement resource shown, this method is more suitable for placement design of cell stations in service area coverage for micro cell base station.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถจัดทำสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็เพราะได้รับความเมตตากรุณา จาก รศ. สมยศ จุณณะปิยะ และ ผศ.ดร. พิเชฐ ม่วงนวล ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำมาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากทุกท่านเป็นอย่างมาก รวมทั้งครูอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ที่ได้ให้ความรู้ในการศึกษาระดับต่างๆ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้ทุนอุดหนุนการศึกษา ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายขอขอบคุณ ดร.อมรรัตน์ อนันต์วรพงษ์ ที่สละเวลาของครอบครัว คอยดูแลและให้กำลังใจในระหว่างการศึกษาโดยตลอด

ปราโมทย์ อนันต์วรพงษ์

พฤษภาคม 2548

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
คำย่อและสัญลักษณ์	X
บทที่ 1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2. ระบบโทรศัพทพื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที.....	6
2.1. โครงสร้างของระบบ โทรศัพทพื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที.....	6
2.1.1 โครงข่ายโทรศัพทพื้นฐานสาธารณะ.....	6
2.1.2 โครงข่ายอัจฉริยะ.....	8
2.1.3 โครงข่ายโทรศัพท PHS.....	9
2.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบ โทรศัพทพื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที.....	12
2.2.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อ.....	12
2.2.2 ความถี่ใช้งาน.....	12
2.2.3 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงและการมัลติเพล็กซ์ของสัญญาณ.....	13
2.2.4 วิธีการมอดูเลตสัญญาณ.....	14
2.2.5 การข้ามเซลล์ในระบบ โทรศัพทพื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที.....	14
2.2.6 ระบบโปรโตคอลในระบบ โทรศัพทพื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.7 รายละเอียดของสถานีเซลล์และเครื่องลูกข่าย.....	17
2.2.8 สายอากาศของเซลล์ระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลพีซีที.....	18
2.3 กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคลพีซีที.....	18
บทที่ 3. หลักการของการแพร่กระจายคลื่น.....	23
3.1 หลักการแพร่กระจายคลื่น.....	23
3.2 กลไกการแพร่กระจายคลื่นพื้นฐาน.....	26
3.2.1 การสะท้อนของคลื่น.....	26
3.2.2 การหักเหของคลื่น.....	30
3.2.3 การกระเจิงของคลื่น.....	33
3.3 วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ.....	33
3.3.1 วิธีการของ Hata สำหรับเซลล์ขนาดเล็ก.....	34
3.3.2 วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami.....	35
3.3.3 วิธีการของ C.Y.Lee.....	36
3.3.4 วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ โดยใช้หลักการ Ray tracing หลักการอิมเมจ และหลักการ UTD.....	37
บทที่ 4. วิธีการที่นำเสนอและผลการทดลอง.....	43
4.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสถานีเซลล์แบบไมโครเซลล์.....	43
4.2 การวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวสายตาและ ระดับแนวนอกสายตา.....	45
4.2.1 สมการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวสายตา.....	45
4.2.2 การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวนอกสายตา.....	46
4.3 การวัดและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	49
4.3.1 หลักการวัด.....	49
4.3.2 ผลการทดลอง.....	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5. บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	61
5.1 สรุปรูปแบบของถนนที่ส่งผลกระทบต่อค่าสูญเสียในเส้นทางระดับแนวนอกสายตา....	61
5.2 สรุปผลที่ได้จากการคำนวณและที่วัดได้จริง.....	62
5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นและขอเสนอแนะ.....	63
5.4 ขอเสนอแนะในการวางตำแหน่งเซลล์สำหรับบริเวณสี่แยก.....	64
บรรณานุกรม.....	65
ผลงานที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์.....	67
ประวัติผู้เขียน.....	73



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์ PHS.....	11
3.1 ความชันของสมการการลดทอนสำหรับสภาพแวดล้อมในพื้นที่ต่างๆ.....	37
4.1 ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณค่าการสูญเสียในระดับแนวอกสายตา ของ CS1.....	52
4.2 ค่าลดทอนจากมุมอาคารที่คำนวณได้แต่ละเส้นทางการทดสอบของ CS1.....	53
4.3 ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณค่าการสูญเสียในระดับแนวอกสายตาของ CS2.....	57
4.4 ค่าลดทอนจากมุมอาคารที่คำนวณได้แต่ละเส้นทางการทดสอบของ CS2.....	57



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที	7
2.2 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ	7
2.3 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะธรรมดา กับ โครงข่ายสาธารณะที่ทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะ	8
2.4 ลักษณะการบริการโทรศัพท์ PHS	9
2.5 โครงข่ายโทรศัพท์ PHS	10
2.6 การเชื่อมต่อระหว่าง PS กับ CS และ CS กับ PHS Server	13
2.7 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด	13
2.8 การจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD	14
2.9 ระดับของสัญญาณที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ข้ามเซลล์หนึ่ง ไปอีกเซลล์หนึ่ง	15
2.10 การแฮนด์โอเวอร์ทั้ง 3 แบบ ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที	16
2.11 โปรโตคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดของสัญญาณควบคุม	17
2.12 ลำดับการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที	18
2.13 โปรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่ง ไปยังอีกเซลล์หนึ่ง	19
2.14 โปรโตคอลของการกลับมาใช้เซลล์เดิมเมื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ไม่สำเร็จ	20
2.15 สถานีเซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที	21
2.16 เครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที	21
2.17 สายอากาศของสถานีเซลล์	22
2.18 การเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออกจากโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที	22
3.1 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบ ไอโซโทรปิก	25
3.2 การสะท้อนของคลื่น	27
3.3 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก	29
3.4 หลักการของ Huygen	30
3.5 การหักเหของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง	31
3.6 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen	32
3.7 เส้นทางการเดินทางของคลื่น	38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 (a) รูปแบบของถนนไมโครเซลล์ในเขตพื้นที่เมือง	
(b) ลักษณะกราฟ Path Loss บนเส้นทางระดับแนวสายตา	
(c) ลักษณะกราฟ Path Loss บนเส้นทางระดับแนวนอกสายตา.....	44
4.2 แบบจำลองเส้นทางของคลื่นที่เดินทางในระดับแนวอกสายตาจากการสะท้อนอาคาร ในเส้นทางระดับแนวสายตา.....	46
4.3 เส้นทางของคลื่นที่ผ่านจุด Q.....	47
4.4 มุมสะท้อน α_{21} และ α_{11}	48
4.5 เส้นทางในการทดสอบ CS1.....	51
4.6 เครื่องมือวัดค่าระดับสัญญาณที่ใช้ในการวัด.....	51
4.7 เปรียบเทียบระดับสัญญาณที่วัดจริงกับการคำนวณจากสมการ (4.2) ในเส้นทาง P1.....	52
4.8 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P2.....	54
4.9 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P3.....	54
4.10 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P4.....	55
4.11 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P5.....	55
4.12 เส้นทางในการทดสอบ CS2.....	56
4.13 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P6.....	58
4.14 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P7.....	58
4.15 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P8.....	59
4.16 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P9.....	59
5.1 ตัวอย่างการวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ บริเวณสี่แยกในเขตพื้นที่ชานเมือง.....	64

คำย่อและสัญลักษณ์

PHS	: Personal Handy-phone System
CT-2	: Cordless Telephone-2
LOS	: Line-of-Sight
NLOS	: Non-Line-of-Sight
GTD	: Geometrical Theory of Diffraction
UTD	: Uniform Theory of Diffraction
DECT	: Digital European Cordless Telephone
PACS	: Personal Access Communication System
PCS	: Personal Communication System
PCT	: Personal Communication Telephone
TOT	: Telephone Organization of Thailand
PSTN	: Public Switched Telephone Network
GSP	: Group Switching Processor
CS	: Cell Station
PABX	: Private Automatic Branch Exchange
ISDN	: Integrated Services Digital Network
BRI	: Basic Rate Interface
SCP	: Service Control Point
CDR	: Call Detail Record
SS7	: Signaling System No.7
TTC	: Telecommunications Technology Committee
ADPCM	: Adaptive Differential Pulse Code Modulator
ITU	: International Telecommunication Union
TDMA	: Time Division Multiple Access
TDD	: Time Division Duplex
$\pi/4$ QPSK	: $\pi/4$ Quadrature Phase Shift Keying
HLR	: Home Location Register
CCH	: Control Channel

คำย่อและสัญลักษณ์

IN	: Intelligent Network
FPLMTS	: Future Public Land Mobile Telecommunication System
MS	: Mobile Station
BS	: Base Station
PS	: Personal Station
BER	: Bit Error Rate
GSM	: Global System Mobile
WLL	: Wireless Local Loop
OMS	: Operation and Maintenance System
TMN	: Telecommunication Management Network
FDD	: Frequency Division Multiplex
FCC	: Federal Communications Commission
SCP	: Service Control Point
TA	: Telecom Asia Co., Ltd.
ARIB	: The Association of radio industries and Businesses
SSP	: Service Switching Point

บทที่ 1

บทนำ

ระบบสื่อสารไร้สายเป็นระบบที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากสามารถใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลาระบบโทรศัพท์ไร้สายได้ถูกพัฒนาตามลำดับ จากเทคโนโลยีระบบเซลล์ลูลาร์ (Cellular Systems) ที่ใช้สถานีฐาน (Base station) ที่มีการครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ครอบคลุมพื้นที่หลายร้อยตารางกิโลเมตรที่เรียกว่าเซลล์ (Cell) เนื่องจากบริการสื่อสารไร้สายเป็นบริการที่สะดวกทำให้ปริมาณผู้ใช้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนทำให้จำนวนช่องสัญญาณต่อพื้นที่ไม่เพียงพอต่อการบริการ จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อลดขนาดเซลล์ให้ลดลงจากหลายร้อยตารางกิโลเมตรเหลือเพียงไม่กี่ตารางเมตร เมื่อเซลล์มีขนาดเล็กมาก การติดตั้งเซลล์ให้ครอบคลุมพื้นที่บริการจะต้องใช้เซลล์จำนวนมาก ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย จึงได้มีการพัฒนาระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบขด (Cordless telephone) ที่มีการพัฒนาให้วางเซลล์เฉพาะบริเวณที่มีการใช้งานหนาแน่นเท่านั้น ในประเทศไทยได้มีการนำระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบขดพีเอชเอส (Personal Handy-phone System: PHS) ซึ่งระบบดังกล่าว จะทำการติดตั้งสถานีเซลล์ (Cell station) บริเวณท้องถนนทั่วกรุงเทพมหานคร โดยเซลล์ที่ใช้มีขนาดรัศมีไม่เกิน 1 กิโลเมตร

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ได้มีการออกแบบวางสถานีเซลล์ในพื้นที่สาธารณะตาม [1] ซึ่งเป็นการออกแบบเพื่อวางสถานีเซลล์บริเวณถนน ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 เขต คือ พื้นที่เมือง พื้นที่ชานเมือง และบริเวณถนนที่รถใช้ความเร็วสูง โดยบริเวณพื้นที่ที่มีการใช้งานหนาแน่นจะทำการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ ส่วนบริเวณที่มีปริมาณการใช้งานไม่หนาแน่นมากนัก จะทำการติดตั้งเซลล์ขนาด 200 และ 500 มิลลิวัตต์ โดยบทความดังกล่าวเสนอการออกแบบติดตั้งสถานีเซลล์บริเวณถนนในพื้นที่ต่างๆ แต่ไม่มีการนำเสนอการติดตั้งบริเวณที่เป็นสี่แยกเนื่องจากบริเวณสี่แยกซึ่งแตกต่างจากบริเวณถนนทั่วไปเนื่องจากเป็นบริเวณที่มีการครอบคลุมของสถานีเซลล์ในแต่ละถนน รวมทั้งปริมาณทราฟฟิกที่เกิดขึ้นค่อนข้างมากกว่าบริเวณถนนทั่วไป โดยทั่วไปการออกแบบติดตั้งสถานีเซลล์จะใช้สมการการลดทอนของสัญญาณ โดยสัญญาณที่แพร่กระจายออกไปจากสถานีเซลล์ จะเกิดการลดทอนได้หลายรูปแบบ ได้แก่ เกิดการลดทอนเนื่องจากระยะทาง เกิดการลดทอนเนื่องจากสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น อาคารสิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ หรือสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ นอกจากนั้นการลดทอนของสัญญาณยังเกิดจากการสะท้อนของคลื่น และการลดทอนเนื่องจากการหักเหของสัญญาณ เป็นต้น วิธีการหาการลดทอนของสัญญาณที่เป็นที่นิยมใช้กันมาก ก็คือ วิธีการคาดคะเนจากผลการวัด (Empirical model) เช่นวิธีการของ COST-231/Hata ที่นิยมใช้ออกแบบหาตำแหน่งติดตั้งเซลล์ขนาดเล็ก วิธีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ COST-231/Walfish/Ikegami วิธีการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด (Point-to-point) และวิธีการคาดคะเนการลดทอนของสัญญาณ โดยอาศัยสมการเส้นตรงของฟังก์ชันลอการิทึม ทั้งนี้วิธีการทั้งหมดก็ยังมีข้อจำกัดเนื่องจากวิธีที่นำเสนอจะไม่คิดถึงสภาพแวดล้อม รวมทั้งระบบโทรศัพท์ทศพหุส่วนบุคคลพีซีทีซีทีที่ใช้ความถี่ในการข้ามเซลล์ความถี่เดียว (ช่องสัญญาณควบคุมช่องเดียว) ดังนั้นจึงทำให้เกิดการรบกวนจากช่องสัญญาณที่ใช้ความถี่เดียวกัน (Co-Channel Interference) ทำให้วิธีการที่กล่าวข้างต้นไม่เหมาะสมกับการออกแบบตำแหน่งติดตั้งสถานีเซลล์บริเวณสี่แยก

ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอการศึกษาการแพร่กระจายคลื่นของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคลพีซีที บริเวณสามแยกและสี่แยกโดยบริเวณดังกล่าวส่วนใหญ่จะมีอาคารสิ่งก่อสร้างทำให้คลื่นที่เดินทางจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องโทรศัพท์พีซีทีแบ่งได้ 2 ส่วน คือ คลื่นทางตรง (Direct wave) และคลื่นที่สะท้อนกับอาคาร (Reflect wave) โดยเครื่องโทรศัพท์พีซีทีที่รับคลื่นตรงจากทิศทางเดียวจะมีระดับสัญญาณแรงที่สุด ส่วนคลื่นสะท้อนจะรับได้จากทุกทิศทางแต่จะมีระดับสัญญาณที่ต่ำกว่า มีเฟสของคลื่นที่เหมือนและแตกต่างกับคลื่นทางตรง ซึ่งจะทำให้เกิดการเสริมหรือหักล้างกัน ทำให้ระดับสัญญาณที่รับได้ที่จุดเดียวกันเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ตลอดเวลา เรียกว่า การเฟดดิ้งหรือการจางหายของสัญญาณ ในการติดตั้งสถานีเซลล์ของโทรศัพท์ระบบพีซีทีนั้นจะทำการติดตั้งบนเสาไฟฟ้าบริเวณข้างถนน ซึ่งส่วนมากจะต่ำกว่าความสูงของตัวอาคาร ทำให้บดบังการแพร่กระจายคลื่นตรงจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องโทรศัพท์พีซีทีที่อยู่ในเส้นทางที่เรียกว่าระดับแนวสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS) ดังนั้นสัญญาณที่รับได้ในเส้นทางระดับแนวสายตาจะเกิดจากคลื่นที่สะท้อนกับตัวอาคาร ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการลดทอน และการเฟดดิ้งของสัญญาณสูงกว่าในเส้นทางระดับแนวสายตา (Line-of-Sight: LOS) ทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเปลี่ยนไปจากรูปแบบมาตรฐานได้ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาในเรื่องการลดทอนที่เกิดจากมุมอาคาร และวิธีการคำนวณเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการติดตั้งสถานีเซลล์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

จากปัญหาดังกล่าว ถ้าสามารถหาวิธีการที่เหมาะสมจะทำให้การออกแบบติดตั้งสถานีเซลล์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จะทำให้ระบบสามารถให้บริการที่ดี ประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุน และให้บริการอย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบกับแนวโน้มของระบบการสื่อสารไร้สายจะใช้เซลล์ขนาดเล็กมากขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นการใช้งานต่อพื้นที่มากขึ้น การออกแบบจุดติดตั้งสถานีเซลล์ในพื้นที่เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานได้ ควรจะต้องศึกษาวิธีการแพร่กระจายคลื่นของสถานีเซลล์ในเขตเมืองและบึงจ้อยต่างๆ ที่มีผลกระทบกับค่าการลดทอนของสัญญาณ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือศึกษาวิธีการแพร่กระจายคลื่น และบึงจ้อยที่สำคัญเหล่านั้น เพื่อสามารถที่จะนำเสนอทฤษฎีและสมการที่มีอยู่แล้วที่เหมาะสม ในการคำนวณค่าลดทอนของสัญญาณเพื่อใช้พิจารณาตัดสินใจ ปรับปรุงสถานีเซลล์บริเวณที่คาดว่าจะมีปัญหา ซึ่งวิธีการที่นำเสนอ นั้นสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปใช้งานกับระบบโทรศัพท์ที่ซีทีดีได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับสถานีเซลล์ชนิดไมโครเซลล์

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

หลักการใหม่ที่น่าเสนอคือ การพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นบนเส้นทางระดับแนวสายตา และระดับแนวอกสายตา รวมทั้งค่าลดทอนจากมุมอาคารบนเส้นทางระดับแนวอกสายตา ที่ได้จากการทดสอบและวัดค่าในพื้นที่ที่จะให้บริการจริง เพื่อนำค่าที่ได้มาใช้เป็นค่าแฟคเตอร์ร่วมกับสมการ Free space loss สำหรับการคาดคะเนค่าสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นให้มีความถูกต้องและลดความยุ่งยากในการคำนวณที่ต้องใช้ตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาให้มีความรวดเร็วและเหมาะสมในการนำไปใช้จริง โดยได้ทำการศึกษาลักษณะของการสูญเสียที่เกิดขึ้นในพื้นที่ที่มีรูปแบบสามแยกและสี่แยกนำมาคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าลดทอนจากมุมอาคารในระยะทางแต่ละช่วงที่กำหนดให้ของการแพร่กระจายคลื่นบนเส้นทางต่างๆ ที่ทำการศึกษา แล้วจึงนำค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าลดทอนจากมุมอาคารที่ได้มาใช้เป็นค่าแฟคเตอร์สำหรับการคาดคะเนค่าสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นทั้งเส้นทางระดับแนวสายตา และระดับแนวอกสายตา โดยจะทำให้ค่าที่ได้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นข้อมูลและการตัดสินใจในการวางตำแหน่งหรือการปรับลดกำลังส่งของสถานีฐานไมโครเซลล์ในพื้นที่เมืองได้

1.4 ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

การคาดคะเนค่าสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นของไมโครเซลล์ในพื้นที่เมืองจะมีหลายๆ โมเดลที่ได้ทำการศึกษาด้วยหลักการสะท้อนและการหักเหของคลื่น เช่น Image Method, Knife-edge, GTD (Geometrical Theory of Diffraction) และ UTD (Uniform Theory of Diffraction) เป็นต้น [2] ซึ่งมีขั้นตอนและรูปแบบการคำนวณที่สลับซับซ้อนและใช้เวลานานในการนำไปใช้ซึ่งในพื้นที่ให้บริการรูปแบบไมโครเซลล์ในเขตพื้นที่เมืองของกรุงเทพมหานครนั้น ลักษณะของคูหาอาคารที่มีปริมาณทราฟฟิกสูงจะมีความสูงเฉลี่ยของอาคารเท่าๆ กัน และมีระยะทางไม่เกินหนึ่งกิโลเมตร โดยส่วนใหญ่จะมีการครอบคลุมของสัญญาณ (Coverage Area) จากสถานีฐานมาโครเซลล์ที่ใกล้เคียงกับพื้นที่เหล่านี้อยู่บ้างแล้ว ดังนั้นการวางตำแหน่งไมโครเซลล์จึงเป็นส่วนช่วยเสริมจำนวนช่องสัญญาณให้เพียงพอต่อทราฟฟิก ซึ่งก็อาจจะไม่จำเป็นต้องใช้การคำนวณร่วมกับตัวแปรหลายๆ ตัวที่ยุ่งยากซับซ้อนสำหรับนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวางตำแหน่งสถานีฐานไมโครเซลล์หรือการคาดคะเนปริมาณทราฟฟิกให้เหมาะสมกับปริมาณของจำนวนช่องสัญญาณที่เกิดขึ้นจริง

ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการศึกษาของวิทยานิพนธ์นี้จะสามารถนำไปใช้พิจารณาเลือกตำแหน่งการวางของสถานีฐานไมโครเซลล์ให้มีความเหมาะสมและรวดเร็วขึ้นได้กับการใช้งานจริง

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ในการวิจัยของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ศึกษาและวิจัยเรื่องเกี่ยวกับค่าสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นเซลล์ในรูปแบบไมโครเซลล์ โดยในขอบเขตการวิจัยจะศึกษาถึงค่าเบี่ยงเบนและค่าลดทอนจากมุมอาคารที่ได้จากการวัดค่าของระดับกำลังงานของสัญญาณในพื้นที่ถนนสยามสแควร์ที่มีลักษณะเป็นตรอกซอยหรือคูหาอาคารที่มีระยะทางสั้นๆ เพราะเซลล์มีขนาดเล็กกรณีการแพร่กระจายคลื่นสั้น แล้วจึงนำค่าที่ได้มาไว้เป็นค่าแฟคเตอร์ร่วมกับสมการ Free space loss เพื่อช่วยในการคาดคะเนค่าสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้น สำหรับนำไปใช้เป็นข้อมูลในการเลือกตำแหน่งการวางสถานีฐานไมโครเซลล์ให้มีความเหมาะสมและรวดเร็วกับการใช้งานจริง

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้จัดแบ่งออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 ได้กล่าวถึงบทบาทและความจำเป็นในการใช้ระบบโทรศัพท์ในการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน การริเริ่มการให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทยจนถึงปัจจุบัน รวมทั้งได้กล่าวถึงความจำเป็นและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา ทฤษฎี หรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 ได้กล่าวถึงระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีที ซึ่งได้อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีที คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีที รวมทั้งกรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีที

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

บทที่ 4 ได้กล่าวถึงวิธีการที่นำเสนอและผลการทดลองในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยรูปแบบเส้นทางบนถนนไมโครเซลล์ การวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นและสมการในการคำนวณค่าการสูญเสียในเส้นทางระดับสายคา และระดับแนวนอกสายคา ผลการทดลองซึ่งได้ทำการทดสอบเส้นทางของการแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์จำนวน 2 ตัว โดยสถานีเซลล์ตัวที่ 1 จะทำการทดสอบทั้งหมด 5 เส้นทาง คือ P1 ถึง P5 สถานีเซลล์ตัวที่ 2 จะทำการทดสอบทั้งหมด 4 เส้นทางคือ P6 ถึง P9 โดยจะแสดงค่าการลดทอนจากมุมอาคาร และรูปภาพเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จริงในพื้นที่ของเส้นทางต่างๆ เหล่านี้ สุดท้ายจะเป็นข้อเสนอแนะตำแหน่งติดตั้งสถานีเซลล์เพิ่มเติมในพื้นที่ย่านพญาไท

บทที่ 5 เป็นบทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองที่ได้จากการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

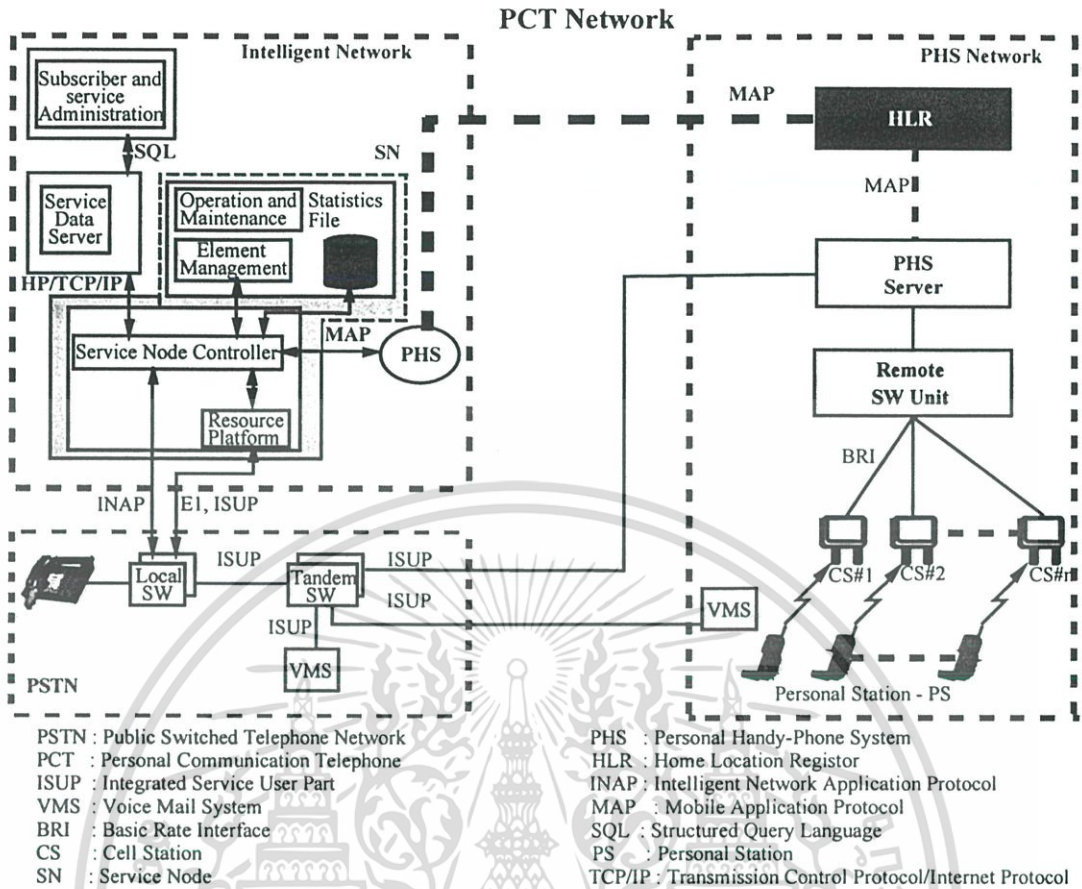
ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายที่องค์กรโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (TOT: Telephone Organization of Thailand) ปัจจุบันคือ บริษัท ทศท คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) และบริษัท เทเลคอมเอเชีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ได้ทำการพัฒนาจากระบบ PHS ของประเทศญี่ปุ่น ได้เริ่มให้บริการเชิงพาณิชย์ในประเทศไทยในปี 2540 [1,4,5,6] ในลักษณะบริการเสริมของโทรศัพท์พื้นฐานแบบใช้สายให้สามารถใช้งานโทรศัพท์ไร้สายได้ทุกที่ทุกเวลาที่เรียกว่า “การสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล” ไม่ว่าจะใช้งานที่บ้าน พื้นที่สาธารณะ หรือแม้กระทั่งในรถยนต์ที่มีความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การให้บริการผู้เรียกสามารถเลือกติดต่อได้ทั้งเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานและเครื่องโทรศัพท์พีซีที ทำให้ไม่พลาดการติดต่อ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานโทรศัพท์ ให้สูงขึ้น

2.1 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

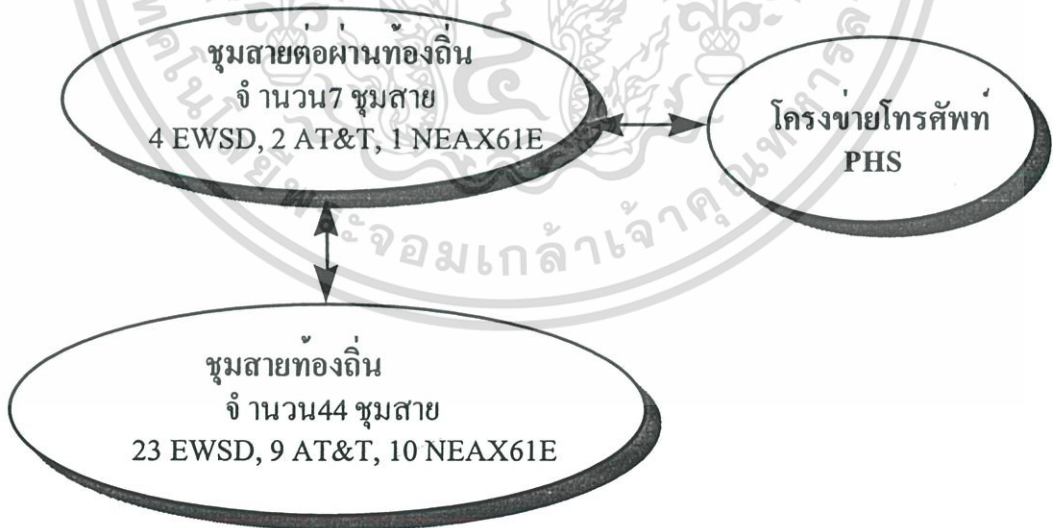
โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะเป็นการทำงานร่วมกันของ 3 โครงข่ายดังแสดงในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN) ซึ่งเป็นโครงข่ายพื้นฐานที่มีอยู่เดิม โครงข่ายอัจฉริยะ (Intelligent Network) ที่นำมาใช้จะให้บริการเสริมในรูปแบบของบริการหมายเลขเดียว (One number service) ทำให้เลขหมายของเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเป็นเลขหมายเดียวกับเครื่องโทรศัพท์พื้นฐาน และโครงข่ายโทรศัพท์ PHS จะเป็นส่วนให้บริการในรูปแบบการสื่อสารไร้สาย ที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณเทอร์สโวลที่ใช้ในการข้ามเซลล์ให้มีขนาดลดลง ทำให้ขนาดการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์กว้างขึ้น จึงสามารถติดต่อสื่อสารภายในอาณาพหุณะที่มีความเร็วสูงขึ้น โดยสามารถใช้งานที่ความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วปกติบนท้องถนนในกรุงเทพมหานคร เนื่องจากสภาพการจราจรค่อนข้างติดขัด จึงมีความต้องการใช้งานโทรศัพท์ในรถยนต์ค่อนข้างมาก

2.1.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

เป็นการใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานเดิมของบริษัทเทเลคอมเอเชีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด และองค์กรโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ที่มีการให้บริการอยู่แล้วดังแสดงในรูป 2.2 ประกอบไปด้วยชุมสายโทรศัพท์ 2 ระดับ คือ



รูปที่ 2.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาสส่วนบุคคลพีซีที



รูปที่ 2.2 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

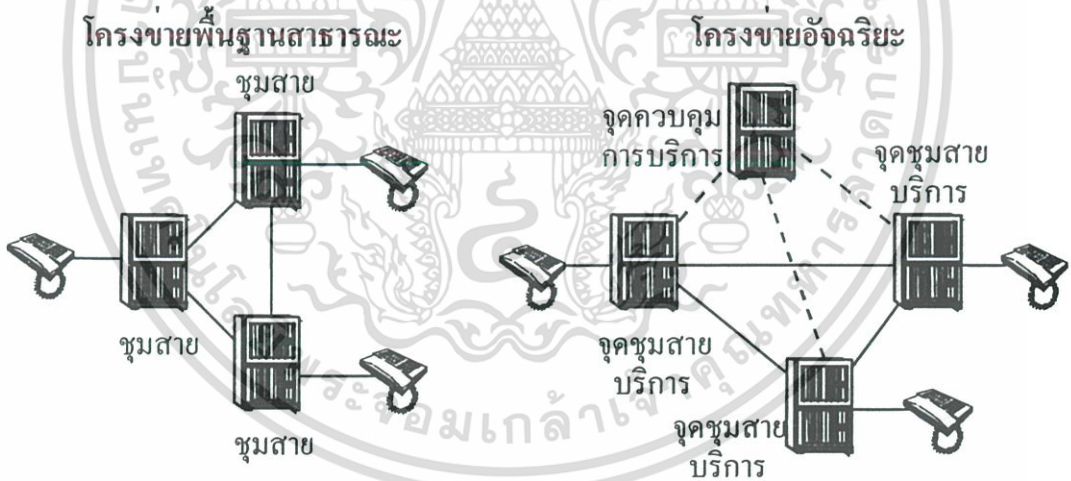
- ชุมสายท้องถิ่น (Local Exchange) ประกอบด้วยกลุ่มของชุมสายปฏิบัติการ (GSP : Group Switching Processor) ทั้งหมด 44 ชุมสาย แบ่งเป็น ชุมสายของ EWSD (Siemens) 23 ชุมสาย ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AT&T (Lucent) 9 ชุมสายและของ NEAX61E (NEC) 10 ชุมสาย ทุกชุมสายติดต่อกันแบบเมช (Mesh connection) [7]

- ชุมสายต่อผ่านท้องถิ่น (Transit Exchange หรือ Tandem Exchange) ประกอบด้วยชุมสายของ EWSD (Siemens) 4 ชุมสาย ของ AT&T (Lucent) 2 ชุมสายและชุมสายของ NEAX61E (NEC) 1 ชุมสาย โดยชุมสายท้องถิ่นทั้ง 4 ชุมสาย[7] จะเชื่อมต่อกับชุมสายต่อผ่านท้องถิ่นทั้งหมดแบบเมช ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีที ชุมสายต่อผ่านท้องถิ่นจะต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์ PHS ดังแสดงในรูปที่ 2.2

2.1.2 โครงข่ายอัจฉริยะ

เป็นส่วนที่เพิ่มความสามารถของโครงข่ายในด้านต่างๆ เช่น การให้บริการรูปแบบใหม่ หรือการให้บริการเสริมกับโครงข่าย กระทำโดยการนำระบบคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์มาช่วยจัดการโครงข่ายและทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการเสริม โดยเป็นการแยกฟังก์ชันในการควบคุมการเรียก (Call control function) ออกจากฟังก์ชันของการให้บริการ (Service control function) ส่งผลให้ผู้ให้บริการโครงข่ายสามารถที่จะพัฒนาโครงข่ายที่มีบริการได้อย่างรวดเร็ว



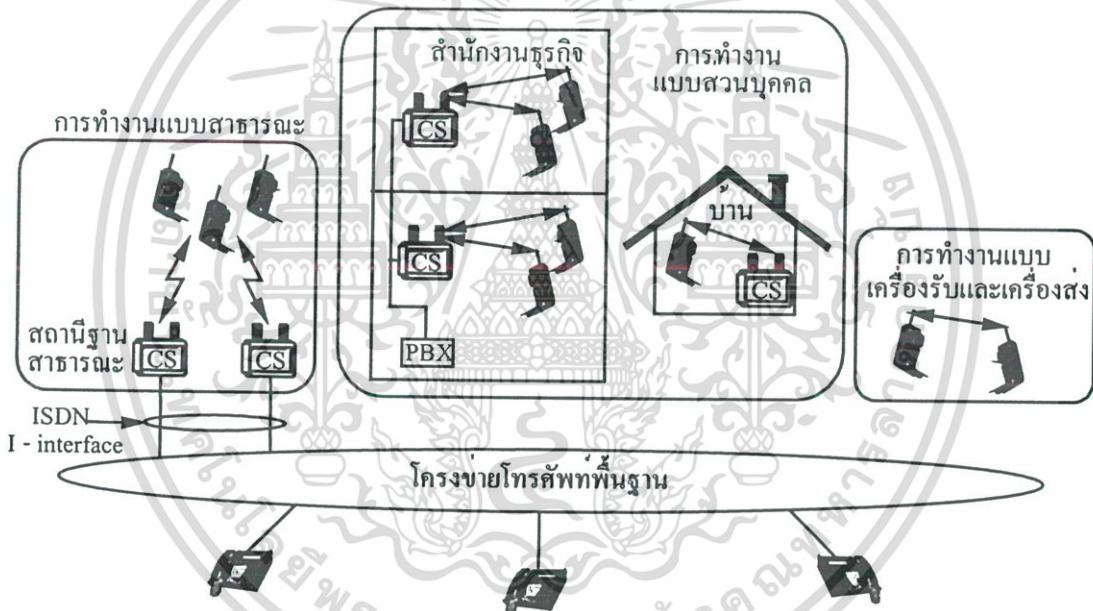
รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะธรรมดา กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่ทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะ

โดยโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่มีการทำงานและไม่มีการทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะแสดงดังรูปที่ 2.3 ถ้าผู้เรียกต้องการใช้บริการของโครงข่ายอัจฉริยะ จุดชุมสายบริการก็จะส่งเลขหมายไปที่จุดควบคุมการบริการซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ของโครงข่ายอัจฉริยะที่แยกออกต่างหากจากระบบชุมสาย โดยจุดควบคุมการบริการจะทำหน้าที่เลือกเส้นทางและหาตำแหน่งของเครื่องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์ จากนั้นจะสั่งให้อุปกรณ์ชุมสายทำการสร้างเส้นทางในการเรียกไปยังปลายทางที่ต้องการต่อไป

2.1.3 โครงข่ายโทรศัพท์ PHS [8]

เป็นโครงข่ายระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลที่สามารถใช้งานได้ทั้งที่บ้าน ที่ทำงานเขตพื้นที่ชุมชน ย่านธุรกิจ และพื้นที่สาธารณะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.4 ในระบบโทรศัพท์ PHS สถานีฐานจะเรียกว่า สถานีเซลล์ หรือเซลล์สเตชัน (CS: Cell Station)[9] และสถานีเคลื่อนที่ (PHS Personal Station) จะเรียกว่า เครื่องโทรศัพท์ PHS โดยเซลล์จะมีขนาดเล็กในระดับมินิเซลล์ มีรัศมีการให้บริการเพียง 100-300 เมตร เท่านั้น โดยทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มความจุของระบบ และเป็นการประหยัดพลังงานเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่เครื่องโทรศัพท์ PHS ทั้งยังเป็นการลดราคาของสถานีเซลล์ลง

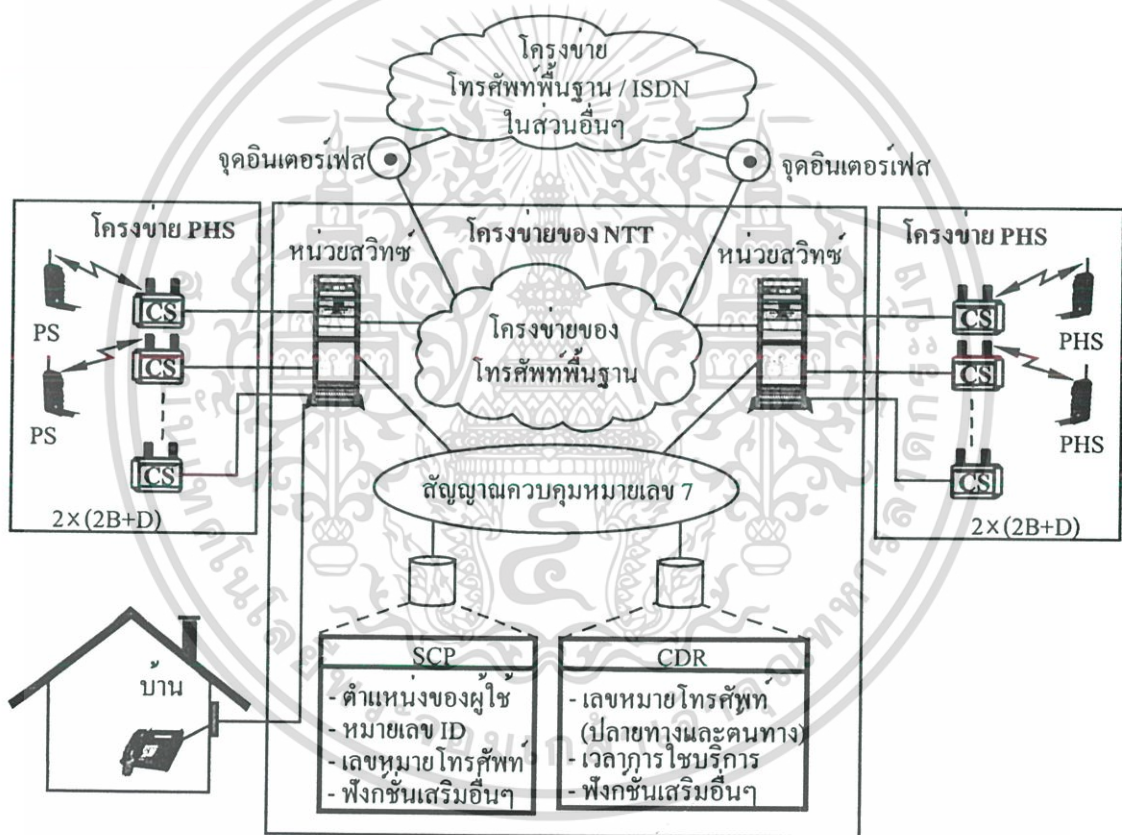


รูปที่ 2.4 ลักษณะการบริการของโทรศัพท์ PHS

จากรูปที่ 2.4 ลักษณะการทำงานของระบบโทรศัพท์ PHS จะมีการใช้งานแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ลักษณะแรกเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัลที่สามารถใช้งานแบบโทรศัพท์ไร้สายได้ทั้งที่บ้านและที่ทำงาน ซึ่งการใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่า การใช้งานในโหมดส่วนตัว (Private Mode) เครื่องโทรศัพท์ PHS จะทำงานติดต่อกับ Home Base Unit แบบโทรศัพท์ไร้สายขด (Cordless Telephone) หรือใช้งานลักษณะ Wireless PABX ร่วมกับชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติในสำนักงานที่เชื่อมต่ออยู่กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ เมื่อมีการใช้งานเครื่องโทรศัพท์ PHS ภายนอกบ้าน หรือนอกสำนักงาน เครื่องโทรศัพท์ PHS ก็จะมีการติดต่อสื่อสารกับสถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์ที่ติดตั้งในพื้นที่สาธารณะ การใช้งานในลักษณะที่สองเรียกว่าแบบโหมดสาธารณะ (Public Mode) โดยเมื่อผู้ใช้บริการต้องใช้งานในโหมดสาธารณะ ก็จะทำการกดหมายเลขไปยังเครื่องโทรศัพท์ PHS ซึ่งในแต่ละเครื่องจะประกอบไปด้วยหมายเลขของผู้ใช้บริการจำนวน 10 หมายเลข โดยในแต่ละสถานีเซลล์จะมีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์ ISDN (Integrated Services Digital Network) [10] นอกจากนี้เครื่องโทรศัพท์ PHS ยังสามารถทำการติดต่อสื่อสารโดยตรงระหว่างเครื่องโทรศัพท์ PHS ด้วยกันได้ การใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่าแบบโหมดรับ-ส่ง (Transceiver Mode) สำหรับการใช้งานในโหมดนี้จะสามารถใช้งานได้ก็ต่อเมื่อเครื่องโทรศัพท์ PHS อยู่ในบริเวณใกล้ๆ กันในลักษณะอินเตอร์คอม สำหรับการเลือกใช้งานในแต่ละโหมดนั้นผู้ใช้บริการสามารถเลือกใช้งานได้



รูปที่ 2.5 โครงข่ายระบบโทรศัพท์ PHS

2.1.3.1 โครงสร้างโครงข่ายโทรศัพท์ PHS

เป็นโครงข่ายที่มีการใช้งานร่วมกับระบบโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยผู้ให้บริการโครงข่าย จะจัดการเชื่อมต่อระหว่างสถานีเซลล์กับเครื่องโทรศัพท์ PHS และจัดการฐานข้อมูลของผู้ใช้บริการ สำหรับเซลล์ในพื้นที่ต่างๆ จะถูกเชื่อมต่อกับชุมสายท้องถิ่น โดยมีการเชื่อมต่อแบบ I-interface [11] ตามมาตรฐานของโครงข่าย ISDN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงการใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์ 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	
17	1899.950	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
18	1900.250	เป็นช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล
19	1900.550	
37	1905.950	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
38	1906.250	
53	1910.750	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ (Public mode: สามารถใช้งานกับสถานีฐานที่ใช้พลังงานสูงและพลังงานต่ำ)
54	1911.050	
69	1915.550	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ (Public mode: สามารถใช้งานกับสถานีฐานที่ใช้พลังงานต่ำเท่านั้น)
70	1915.850	Guard Channel
71	1916.150	เป็นช่องสัญญาณควบคุม (สำรอง)
72	1916.450	Guard Channel
73	1916.750	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 1
74	1917.050	Guard Channel
75	1917.350	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 2
76	1917.650	Guard Channel
77	1917.950	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 3

ลักษณะของช่องสัญญาณทางพีสิคคอดจะทำการส่งข้อมูลโดยใช้ช่องสัญญาณ B ในแต่ละสถานีเซลล์จะสามารถรองรับได้ 4 ช่องสัญญาณ ใช้คู่สาย ISDN ที่มีการเชื่อมต่อแบบ BRI (Basic rate Interface) 2 คู่สายเชื่อมต่อสถานีเซลล์กับชุมสายท้องถิ่น สำหรับข้อมูลต่างๆ ของผู้ใช้บริการ เช่น การดูแลการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของผู้ใช้บริการ โดยหมายเลขของผู้ใช้บริการจะถูกเก็บไว้ในส่วนควบคุมการให้บริการ (SCP: Service Control Point) และการบันทึกข้อมูลการเรียกของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริการ (CDR: Call Detail Record) ข้อมูลหมายเลขโทรศัพท์ที่ทำการเรียก[7-8] หมายเลขโทรศัพท์ที่ถูกเรียก และเวลาในการสนทนา จะใช้การเชื่อมต่อแบบ SS7 (Signaling System No.7) [12]

2.1.3.2 การใช้งานแถบความถี่ในระบบโทรศัพท์ PHS

ช่องสัญญาณจะแบ่งออกเป็น 77 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณกว้างช่องละ 300 kHz โดยจะใช้งานในช่วงความถี่ 1895.15-1917.95 MHz (ความกว้างของความถี่ 22.8 MHz) สำหรับรายละเอียดความถี่และลักษณะการใช้งานในแต่ละช่องสัญญาณแสดงดังตารางที่ 2.1[13]

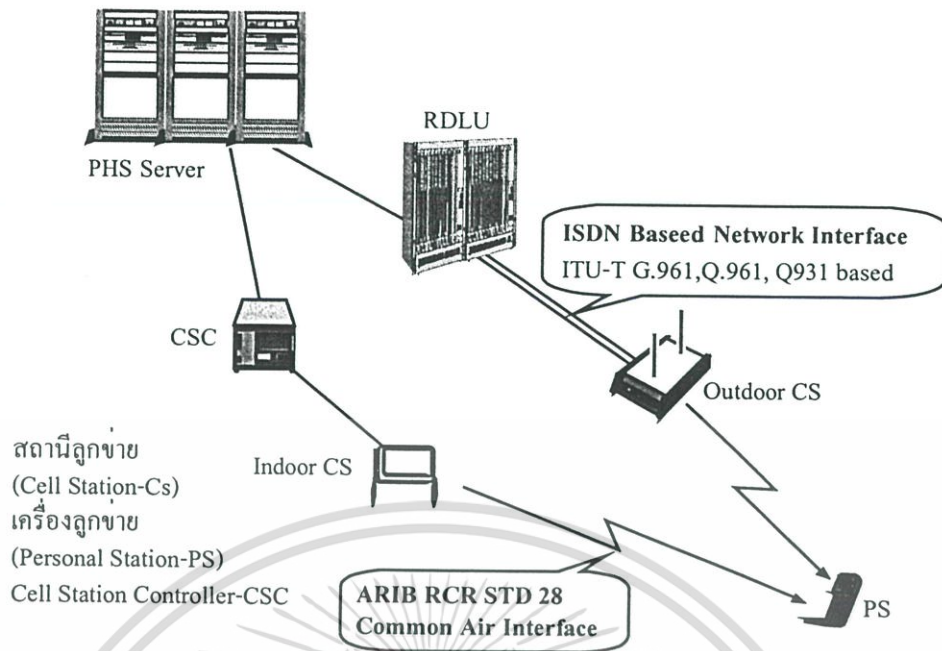
2.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

2.2.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อ

การเชื่อมโยงระหว่างสถานีเซลล์กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (Network Interface) จะใช้มาตรฐาน JT-Q921-b, JT-Q931-b, JT-Q1218, JT-Q1218-a, JT-Q932-a, JT-1460, JT-1430 และ JT-1961[24] ของ TTC (Telecommunications Technology Committee) และสำหรับมาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศ (Air Interface) จะใช้มาตรฐาน RCR STD 28 V.3.2 ของ ARIB (The Association of Radio Industries and Businesses)[13] ซึ่งตามข้อกำหนด โครงสร้างของโครงข่ายระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.6 สัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่างสถานีเซลล์ (CS) กับเซิร์ฟเวอร์ จะมีอัตราเร็ว 32 kbps มีการเข้ารหัสแบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulator)[14] ส่วนสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่าง PCT Switch จะใช้อัตราเร็ว 384 kbps

2.2.2 ความถี่ใช้งาน

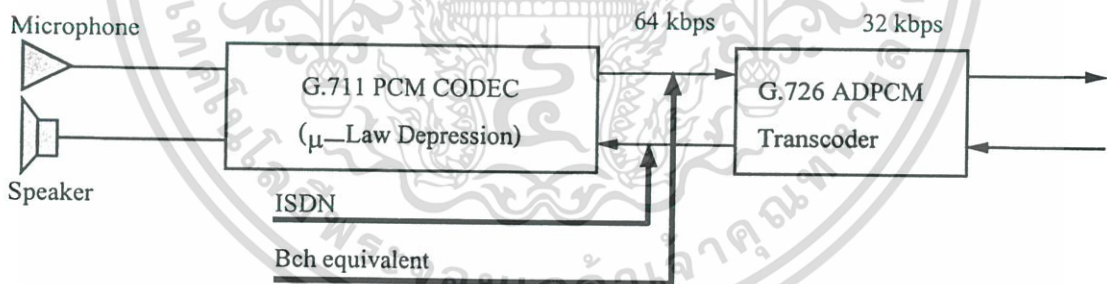
ความถี่ที่ใช้สำหรับโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะเหมือนกับระบบโทรศัพท์ PHS ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งจะแบ่งความถี่ออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มของความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล ได้แก่ การใช้งานลักษณะอินเตอร์คอมในโหมครับ-ส่ง เป็นการสื่อสารระหว่างเครื่องโทรศัพท์พีซีทีด้วยกันโดยไม่มีสถานีเซลล์เข้ามาเกี่ยวข้อง จะใช้ความถี่ช่องที่ 1-10 สำหรับการใช้งานส่วนบุคคลภายในสำนักงานหรือที่อยู่อาศัยต่างๆ ในรูปแบบของ Wireless PABX จะใช้งานความถี่ช่องที่ 11-37 โดยมีช่องสัญญาณในช่องที่ 12, 18 เป็นช่องสัญญาณควบคุม และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นความถี่ที่ใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ ซึ่งจะใช้ความถี่ช่องที่ 38 - 69 โดยมีช่องสัญญาณในช่องที่ 70-77 เป็นช่องสัญญาณควบคุมโดยบริษัท เทเลคอมเอเชีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) จะใช้สัญญาณควบคุมช่องที่ 75



รูปที่ 2.6 การเชื่อมต่อระหว่าง PS กับ CS และ CS กับ PHS Server

2.2.3 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงและการมอดิเฟอ์ของสัญญาณ

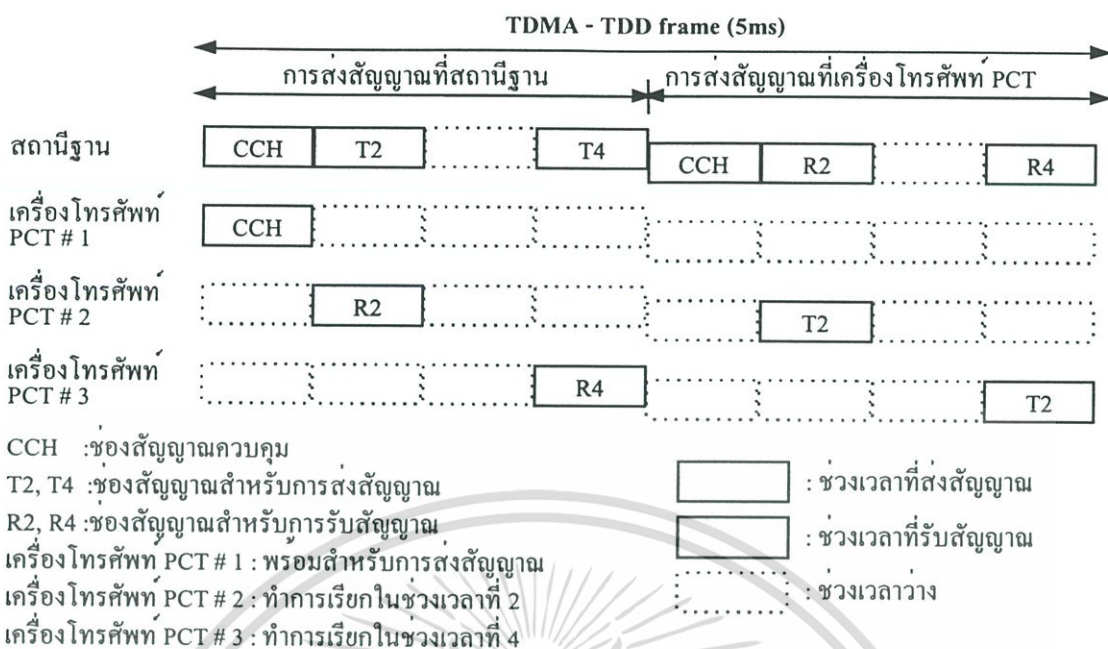
การเข้ารหัสสัญญาณเสียงของระบบ จะใช้วิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ ADPCM ตามมาตรฐาน G.711 และ G.726 ของ ITU-T [15] ซึ่งมีรายละเอียดดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด

จากรูป 2.8 แสดงการจัดช่องสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุส่วนบุคคลพีซีที ใน 1 ช่องสัญญาณในการติดต่อจะแบ่งเป็น 8 ช่องเวลา (Time Slot) โดยการใช้เทคนิคแบบ TDMA/TDD (Time Division Multiple Access/Time Division Duplex) แบ่งเป็นสำหรับการส่งจะมี 4 ช่องเวลา และรับ 4 ช่องเวลา (มีช่องสัญญาณควบคุมรับ-ส่งอย่างละ 1 ช่อง) ในการติดต่อสื่อสาร จะใช้ 1 ช่องเวลาส่ง และ 1 ช่องเวลารับ ดังนั้น 1 เซลล์จะสามารถทำการติดต่อได้พร้อม ๆ กัน 3 คู่สนทนา นั่นคือ สถานีเซลล์ 1 เครื่อง จะใช้เครื่องโทรศัพท์พีซีทีได้ 3 เครื่องพร้อม ๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD

2.2.4 วิธีการมอดูเลตสัญญาณ

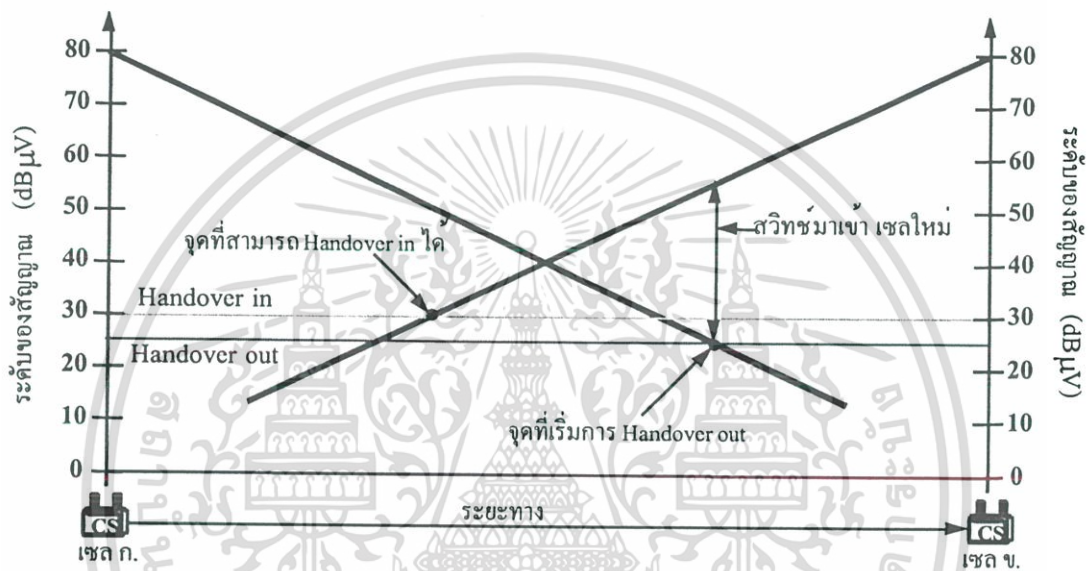
ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลที่ซีทีเอ็นเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบที่ใช้เทคนิคการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ ADPCM และใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ $\pi/4$ QPSK ($\pi/4$ Quadrature Phase Shift Keying) [14] ซึ่งเป็นเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณที่ปรับปรุงมาจากการมอดูเลตแบบ QPSK โดยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ $\pi/4$ QPSK [14]

2.2.5 การข้ามเซลล์ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลที่ซีที

การข้ามเซลล์จะใช้เทคนิคการแฮนด์โอเวอร์ (Handover) เนื่องจากเซลล์มีขนาดเล็กมาก มีรัศมีการให้บริการใน 1 เซลล์ ประมาณ 300 - 500 เมตร การติดต่อสื่อสารที่มีการเคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง ไม่สามารถใช้เทคนิคการแฮนด์ออฟ (Hand-off) ที่ใช้ในการข้ามเซลล์ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์เดียวได้ เพราะเทคนิคการแฮนด์ออฟจำเป็นจะต้องมีการส่งถ่ายข้อมูลจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์เดียวจากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง เพื่อทำการจัดเตรียมช่องสัญญาณล่วงหน้าเอาไว้รองรับการข้ามเซลล์ ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการถ่ายโอนข้อมูลพอสมควร เมื่อเซลล์มีขนาดเล็กมากจึงไม่มีเวลาเพียงพอสำหรับการถ่ายโอนข้อมูล โดยวิธีการแฮนด์โอเวอร์จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ เมื่อสัญญาณที่รับได้จากเครื่องโทรศัพท์ที่ซีทีมีระดับของสัญญาณต่ำลงจนถึงระดับ เทสโวลต์ของการแฮนด์โอเวอร์อื่น (30 dB μ V) เครื่องโทรศัพท์ที่ซีทีจะทำการตรวจหาสัญญาณจากเซลล์ข้างเคียง โดยจะเลือกเซลล์ที่มีสัญญาณแรงที่สุด ในกรณีที่ช่องสัญญาณของเซลล์ที่มีสัญญาณแรงที่สุดถูกใช้งาน เครื่องโทรศัพท์ที่ซีทีก็จะเปลี่ยน ไปเลือกเซลล์ที่สัญญาณแรงเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันดับ 2 แทน และเมื่อหาสัญญาณแรงที่สุดที่เซลล์ใหม่ได้แล้ว เครื่องโทรศัพท์พีซีที ก็จะทำกรยกเลิกการสื่อสารในเซลล์เดิมและเปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณในเซลล์ใหม่เพื่อทำการสื่อสารต่อไปดังแสดงในรูปที่ 2.9 สำหรับช่วงเวลาที่มีการข้ามเซลล์นี้ เครื่องโทรศัพท์พีซีทีจะส่งสัญญาณควบคุมไปติดต่อกับในเซลล์ใหม่ โดยไม่สนใจการติดต่อสื่อสารในช่วงเวลานั้น จะส่งผลให้ผู้ที่ใช้เครื่องโทรศัพท์พีซีทีในช่วงเวลาที่มีการข้ามเซลล์ จะไม่ได้ยินเสียงการสนทนาหรือสัญญาณขาดหาย (Muting time) เป็นเวลาประมาณ 2-3 วินาที สำหรับการใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเมื่อมีการเคลื่อนที่สามารถใช้งานได้ที่ความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



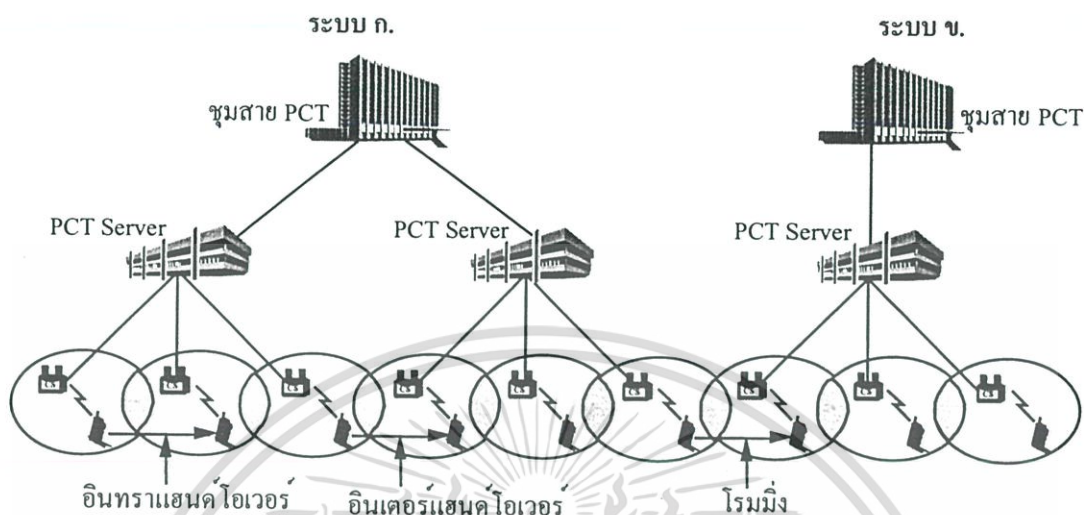
รูปที่ 2.9 ระดับของสัญญาณที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ข้ามเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง

จากรูปที่ 2.10 การแฮนด์โอเวอร์จะแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบที่ 1 เรียกว่า อินทราแฮนด์โอเวอร์ จะเป็นการข้ามเซลล์ของโทรศัพท์พีซีทีในกลุ่มที่ต่อกับ PCT Server เดียวกัน แบบที่ 2 เรียกว่า อินเตอร์แฮนด์โอเวอร์ จะเป็นการข้ามเซลล์ของโทรศัพท์พีซีทีที่อยู่ต่าง PCT Server กัน และในแบบที่ 3 เรียกว่า การโรมมิ่ง (Roaming) จะเป็นการข้ามเซลล์ของโทรศัพท์พีซีทีที่มีโครงข่ายผู้ให้บริการต่างกัน[8,16] ในการข้ามเซลล์ด้วยวิธีการแฮนด์โอเวอร์แต่ละแบบนี้จะใช้เวลาไม่เท่ากัน โดยสังเกตได้จากการเกิดการขาดหายของสัญญาณเสียง ขณะที่ส่งสัญญาณควบคุมในการข้ามเซลล์ จะประมาณ 2 วินาที สำหรับแบบอินทราแฮนด์โอเวอร์ 3 วินาที สำหรับแบบอินเตอร์แฮนด์โอเวอร์ และ 4 วินาที สำหรับการโรมมิ่ง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวางรูปแบบของเซลล์ให้มีการข้ามเซลล์อยู่ในกลุ่มเซลล์ของ PCT Server เดียวกัน เพื่อลดเวลาในการขาดหายของสัญญาณเสียงให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ สำหรับการข้ามเซลล์ด้วยการใช้เทคนิคการแฮนด์โอเวอร์นั้นจะใช้ระดับของสัญญาณเป็นตัวกำหนด โดยระดับของสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์พีซีทีจะทำการข้ามเซลล์ เราเรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์เอาท์ (Handover out : 25 dBμV) และระดับสัญญาณของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิพนธ์ตีพิมพ์หรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์ใหม่ที่มารองรับเรา เรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์อิน (Handover in : 30 dB μ V) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



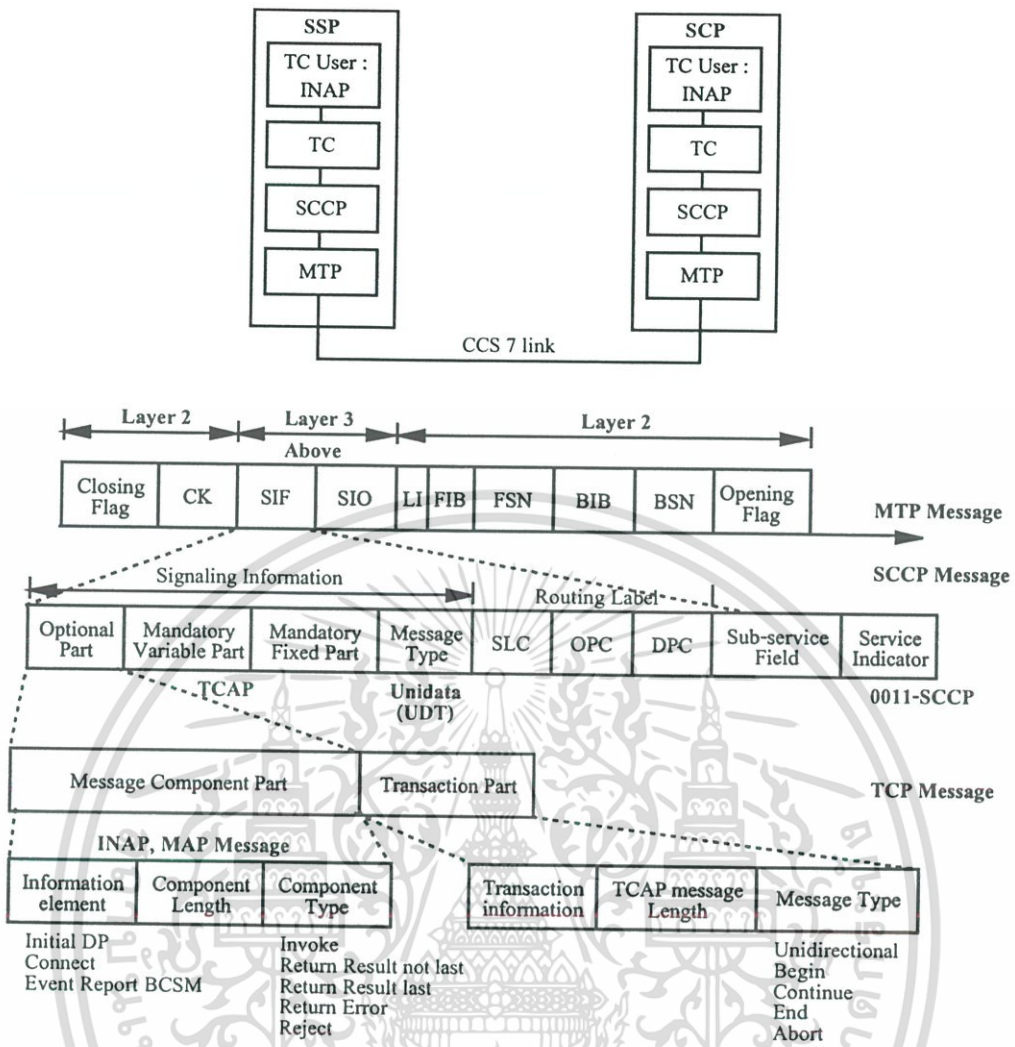
PCT : โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (Personal Communication Telephone) CS : สถานีเซลล์(Cell Station)

รูปที่ 2.10 การแฮนด์โอเวอร์ทั้ง 3 แบบ ในระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

2.2.6 ระบบโปรโตคอลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

โปรโตคอลที่ใช้สำหรับการติดต่อระหว่างชุมสาย (SSP : Service Switching Point)[12] กับ ส่วนของการควบคุมการให้บริการ (SCP : Service Control Point)[12] นั้น จะใช้ฟังก์ชันของการทำงานในระบบควบคุมสัญญาณหมายเลข 7 (CCS No.7) โดยระดับของโปรโตคอลและเฟรมของสัญญาณควบคุมจะแสดงดังในรูปที่ 2.11 สำหรับลำดับขั้นของการติดต่อสื่อสารจะแสดงดังรูปที่ 2.12

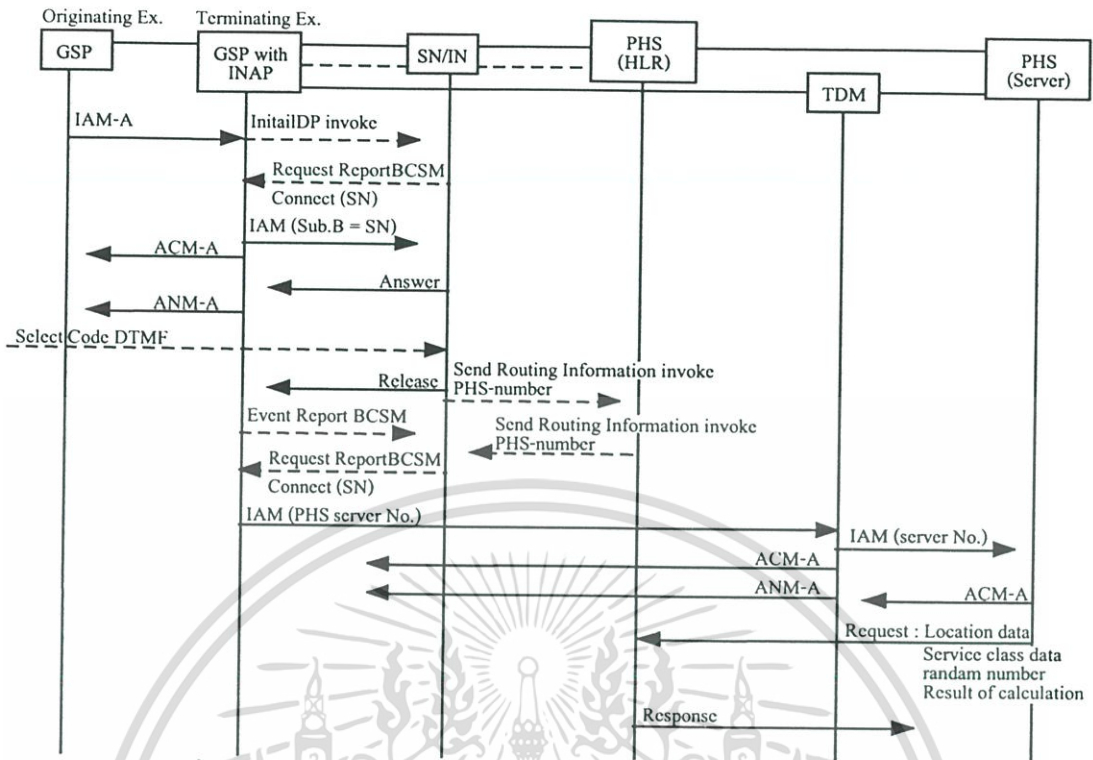
โปรโตคอลที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะแสดงดังรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14 โดยรูปที่ 2.13 แสดงโปรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง ในรูปที่ 2.14 จะเป็นกรณีที่ไม่สามารถทำการแฮนด์โอเวอร์ได้สำเร็จตามขั้นตอนในรูปที่ 2.13 เครื่องโทรศัพท์พีซีทีให้พยายามกลับไปใช้งานช่องสัญญาณที่เซลล์เดิม โดยในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องโทรศัพท์พีซีทีและสถานีเซลล์นั้น จะเป็นไปตามมาตรฐาน Air-interface RCR-28



รูปที่ 2.11 โปรโตคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดของสัญญาณควบคุม

2.2.7 รายละเอียดของสถานีเซลล์และเครื่องโทรศัพท์พีซีที

สถานีเซลล์ที่นำมาใช้จะมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดติดตั้งภายในตัวอาคาร โดยจะมีกำลังส่ง 10 มิลลิวัตต์ และชนิดติดตั้งนอกอาคารมีกำลังส่งขนาด 20 มิลลิวัตต์และ 200 มิลลิวัตต์ สำหรับลักษณะของเครื่องโทรศัพท์พีซีทีที่มีลักษณะคล้ายกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วๆ ไป จะมีขนาดเล็กกว่าเนื่องจากใช้ความถี่ในย่านสูงกว่าปกติ คือ ประมาณ 1.9 GHz น้ำหนักของเครื่องจะอยู่ประมาณ 90-150 กรัม มีแบตเตอรี่ที่สามารถชาร์จได้ (Ni-Cd, Ni-MH, Lithium Ion) ซึ่งสามารถเปิดเครื่องรอรับสายได้นานถึง 500 ชั่วโมงขึ้นไปถึง 600 ชั่วโมง และสามารถใช้งานได้นานถึง 5 ชั่วโมงขึ้นไป จึงทำให้การใช้งานสะดวกไม่ต้องกังวลในการพกพาแบตเตอรี่สำรอง มีข้อดีสำหรับการให้บริการข้อมูลแบบดิจิทัล เช่น FAX, Data terminal ฯลฯ ลักษณะของสถานีเซลล์และเครื่องโทรศัพท์พีซีทีที่แสดงในรูปที่ 2.15 และ 2.16 ตามลำดับ



รูปที่ 2.12 ลำดับการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

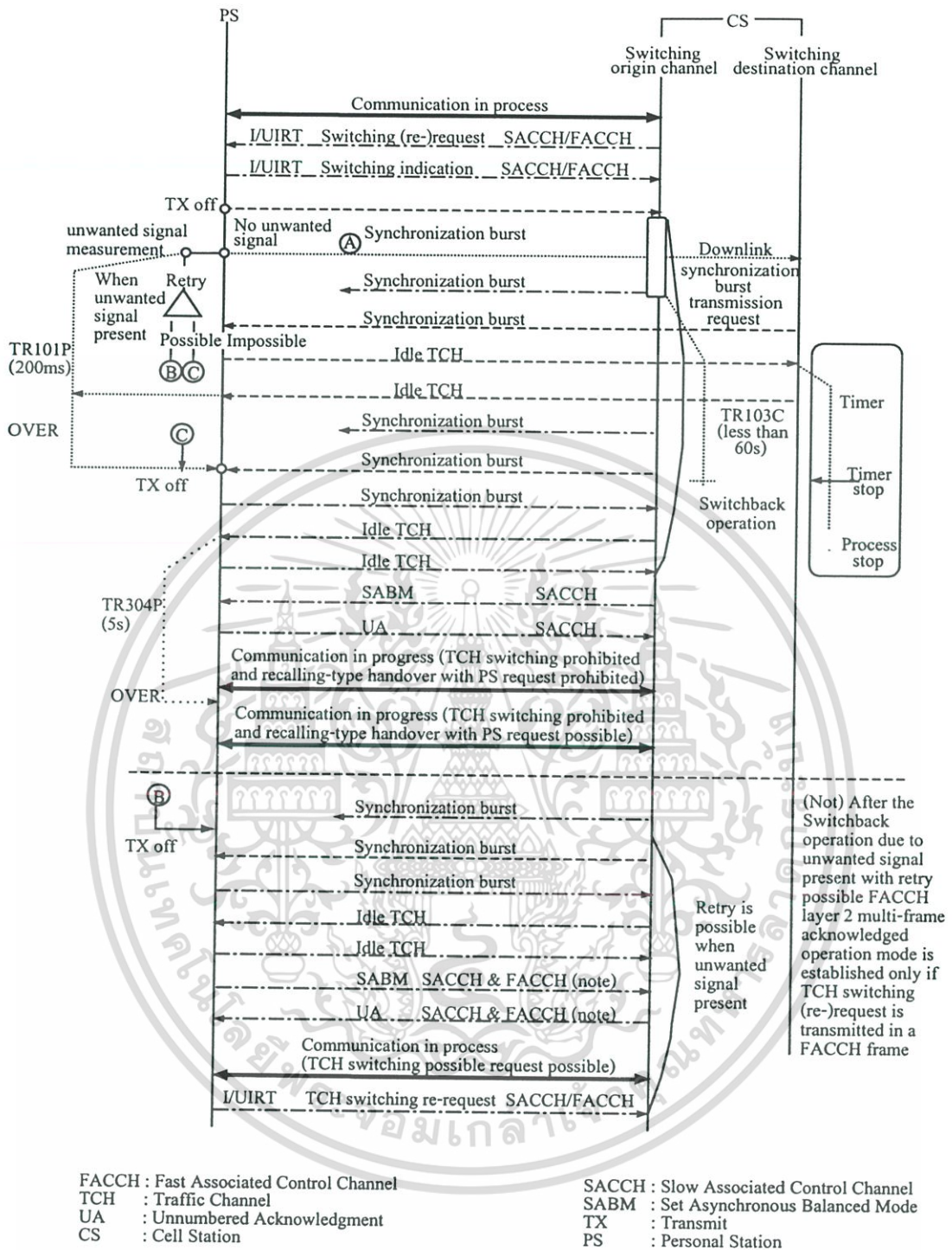
2.2.8 สายอากาศของเซลล์ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

สายอากาศของสถานีเซลล์ที่ติดตั้งใช้งานจะใช้สายอากาศที่มีค่าอัตราขยาย 4 แบบ มีลักษณะดังรูปที่ 2.17 คือขนาด 2 dBi สำหรับเซลล์ขนาด 10 มิลลิวัตต์ 4 dBi, 7 dBi และ 9 dBi สำหรับเซลล์ขนาด 20 และ 200 มิลลิวัตต์ โดยสายอากาศที่มีค่าอัตราขยายต่างๆ จะเห็นว่าสายอากาศที่มีค่าอัตราขยายสูง จะสามารถกระจายคลื่นในแนวนอนได้ดี ถึงแม้ว่าในแนวตั้งจะมีปัญหาบ้าง เพราะมีไซดโลปมาก ซึ่งจะเป็นผลให้การกระจายคลื่นไปยังอาคารสูงทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร

2.3 กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

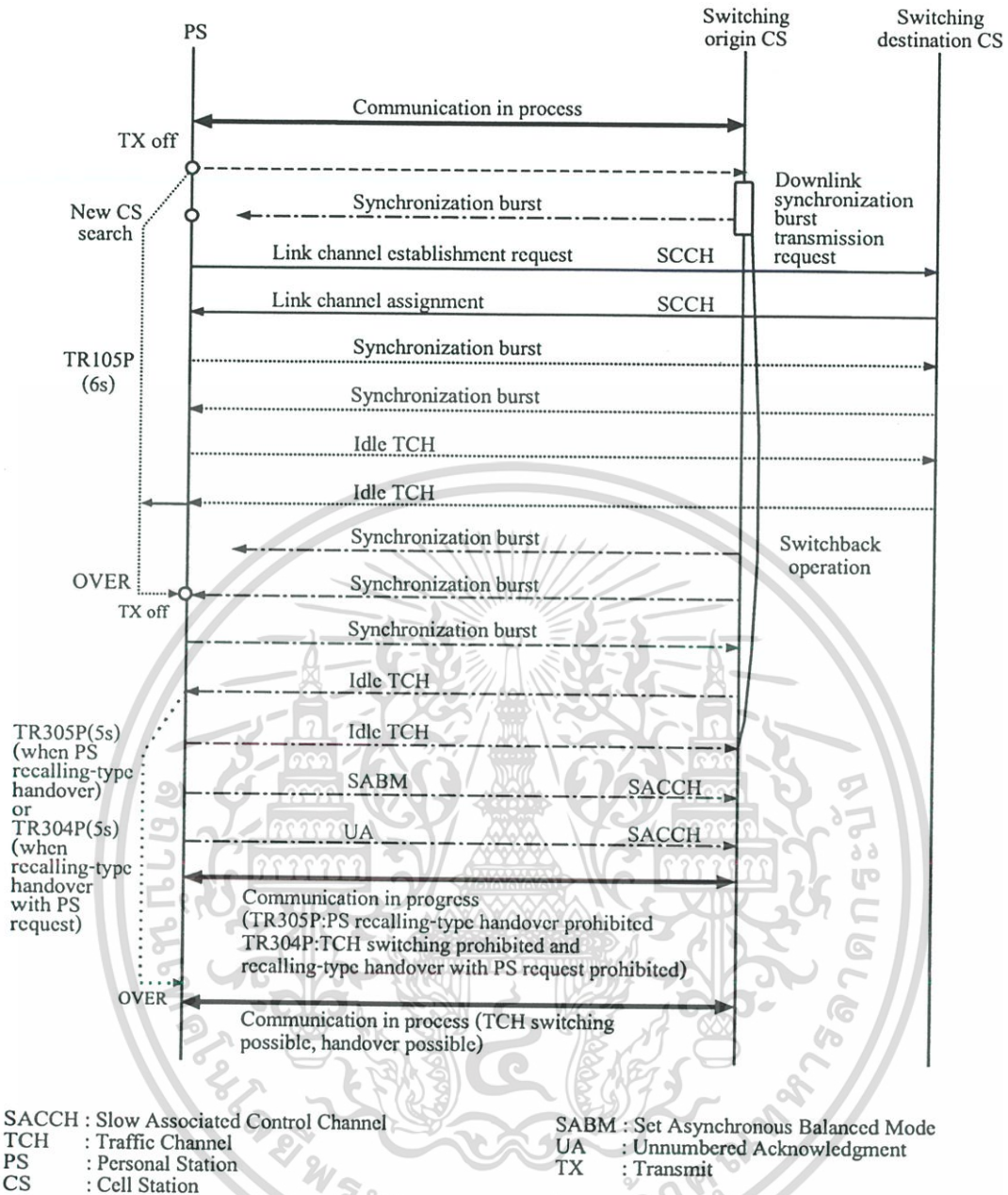
กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีที่จะมีรายละเอียดขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.18 จากรูปเมื่อมีการเรียกจากเครื่องโทรศัพท์พีซีที เข้ามายัง PCT Server ข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์พีซีที จะถูกส่งไปยัง HLR (Home Location Register) เพื่อทำการตรวจสอบว่าเป็นผู้ใช้บริการมีการลงทะเบียนกับระบบแล้วหรือไม่ ถ้ามีการลงทะเบียนกับระบบ PCT Server ก็จะทำการเชื่อมต่อไปยังชุมสายปลายทาง ในทำนองเดียวกัน เมื่อมีผู้เรียกจากเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานมายังเครื่องโทรศัพท์พีซีที ข้อมูลที่ส่งมายัง PCT Server ก็จะถูกส่งไปตรวจสอบยัง HLR ว่าเป็นผู้ใช้บริการที่ถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้องก็จะส่งมายัง PCT Server ให้ทำการเรียกหาใน Paging Area ต่างๆ จนสามารถเรียกเครื่องโทรศัพท์พีซีทีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



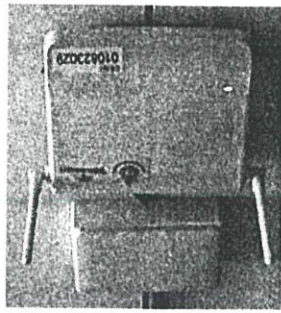
รูปที่ 2.13 โพรโตคอลการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 โพรโตคอลของการกลับมาใช้เซลล์เดิมเมื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ไม่สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) แบบ 10 mW



(ค) แบบ 200 mW



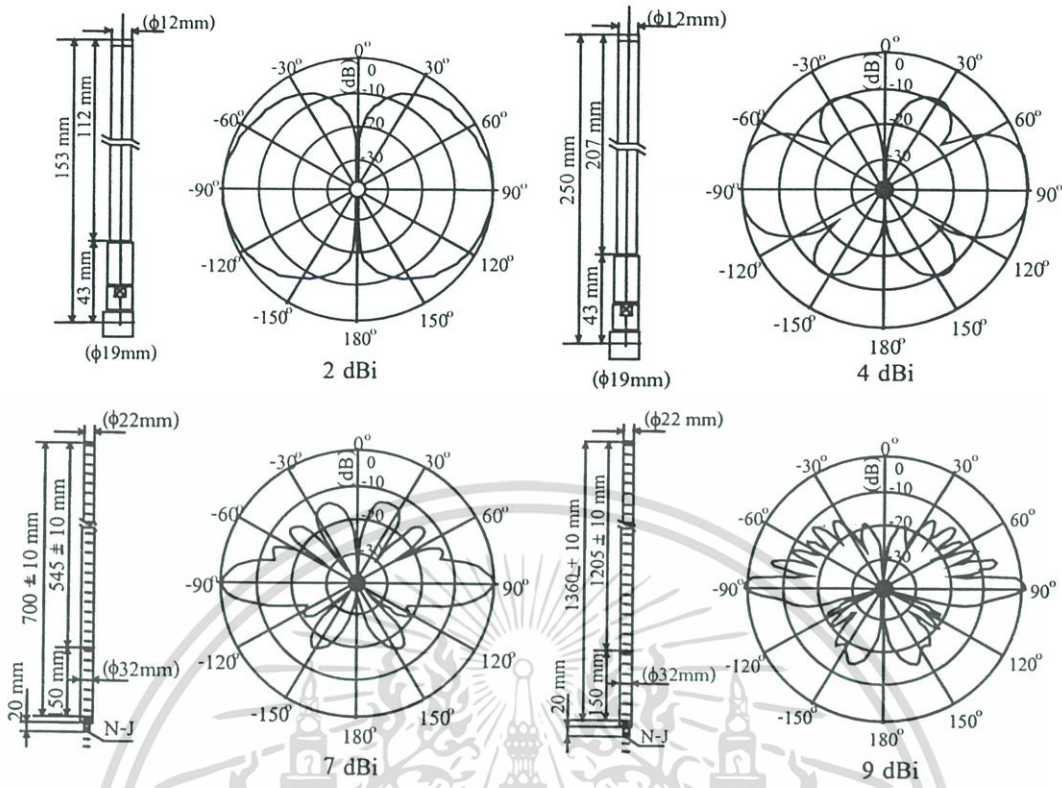
(ข) แบบ 20 mW

รูปที่ 2.15 สถานีเซลล์ของระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

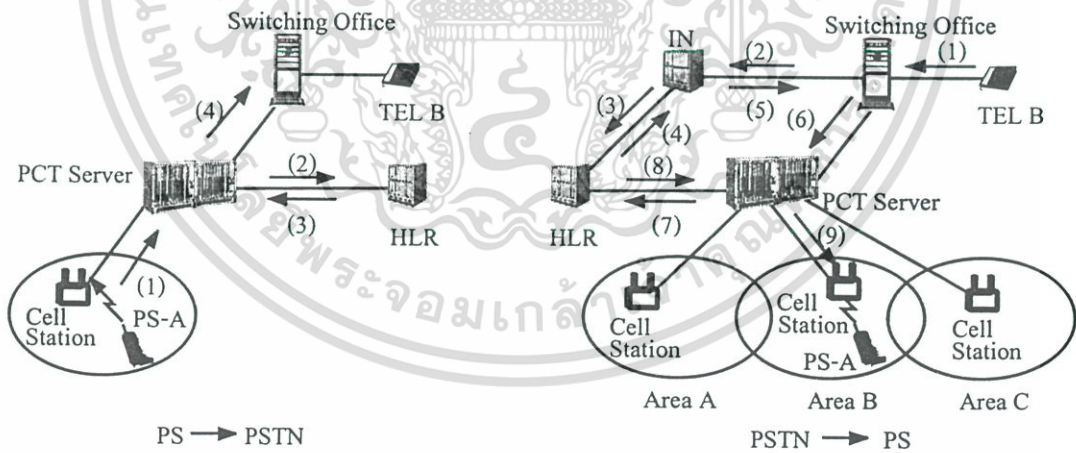


รูปที่ 2.16 เครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 สายอากาศของสถานีเซลล์



รูปที่ 2.18 การเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออกจากโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการของการแพร่กระจายคลื่น

สิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการออกแบบและวางโครงข่ายของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที ก็คือ การคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์หรือการหาขอบเขตของพื้นที่ให้บริการ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการการลดทอนของสัญญาณ โดยสัญญาณที่แพร่กระจายออกไปจากสถานีเซลล์จะเกิดการลดทอนได้หลายรูปแบบ เช่น เกิดการลดทอนเนื่องจากระยะทางโดยที่ระยะทางมากขึ้นการลดทอนก็เพิ่มขึ้น เกิดการลดทอนเนื่องจากสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น อาคารสิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ หรือสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ การลดทอนของสัญญาณยังเกิดจากการสะท้อนของคลื่นในมุมที่ทำให้เฟสหักล้างกันและการลดทอนเนื่องจากการหักเหของสัญญาณ เป็นต้น วิธีการหาการลดทอนของสัญญาณที่เป็นที่นิยมใช้กันมาก ก็คือ วิธีการคาดคะเน เช่นวิธีการของ Hata สำหรับเซลล์ขนาดเล็ก วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami วิธีการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด และวิธีการคาดคะเนการลดทอนของสัญญาณโดยอาศัยสมการเส้นตรงของฟังก์ชันลอการิทึม แต่วิธีการทั้งหมดก็ยังมีข้อจำกัด

3.1 หลักการแพร่กระจายคลื่น

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

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

โดยที่ P_r เป็นกำลังที่เครื่องรับได้ต่อ หนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งมีความสัมพันธ์รูปแบบปกติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำหนดโดย

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

เมื่อ

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

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

Z_0 เป็นค่าความต้านทานมีค่าเท่ากับ 377.752Ω

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

ถ้ากำหนดให้สายอากาศเป็นแบบไอโซโทรปิก และพื้นผิวการแพร่กระจายคลื่นเป็นทรงกลมดังแสดงในรูปที่ 3.1 ดังนั้นกำลังที่เครื่องรับได้รับจะเป็น

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

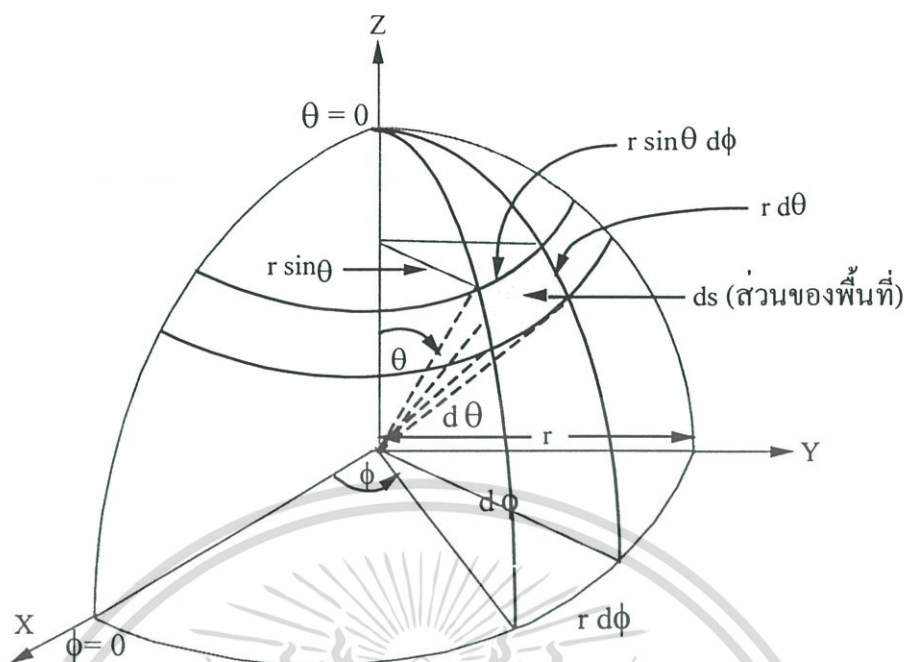
$$P_t = P_r r^2 \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (3.6)$$

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

โดย $4\pi r^2$ คือ พื้นที่ของการกระจายคลื่นซึ่งเป็นรูปวงกลมและมีรัศมี r สมมติให้ G_t คืออัตราการขยายกำลังของสายอากาศจากเครื่องส่ง ดังนั้นความหนาแน่นของกำลังงานในทิศทางของการแพร่กระจายจะได้เป็น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิก

ส่วนทางด้านสายอากาศของเครื่องรับก็จะติดตั้งในทิศทางที่สามารถรับสัญญาณได้สูงสุด สมมติให้ P_r คือกำลังงานที่สายอากาศของเครื่องรับได้รับ ในกรณีเช่นนี้สายอากาศจะใช้พื้นที่ในการรับสัญญาณ ดังนั้นค่ากำลังงานที่รับได้จะมีค่าเป็น

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

ในสายอากาศใดๆ ก็ตาม อัตราส่วนของการขยายสูงสุดต่อพื้นที่รับสัญญาณ คือ

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย	P_t	เป็นกำลังงานในการส่งสัญญาณ
	P_r	เป็นกำลังงานในการรับสัญญาณ
	G_t	เป็นเกนของสายอากาศส่ง
	G_r	เป็นเกนของสายอากาศรับ
	r	เป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งในหน่วยกิโลเมตร
	L	เป็นการลดทอนของระบบ ($L > 1$)
และ	λ	เป็นความยาวคลื่นในหน่วยเมตร

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

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

$$L(\text{dB}) = G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) - (32.44 + 20 \log r + 20 \log f) \quad (3.12)$$

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

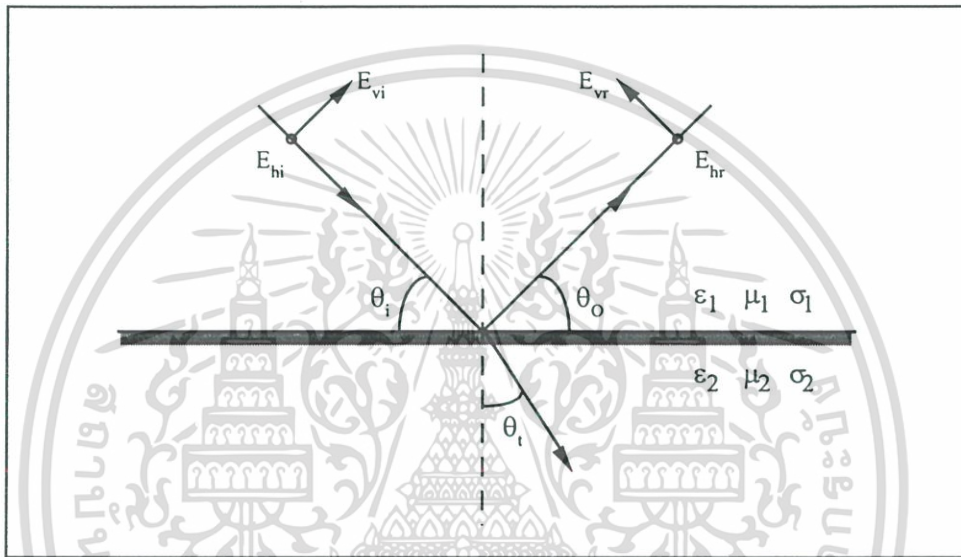
$$L(\text{dB}) = 32.44 + 20 \log r + 20 \log f \quad (3.13)$$

3.2 กลไกการแพร่กระจายคลื่นพื้นฐาน (Basic propagation Mechanisms)

3.2.1 การสะท้อนของคลื่น

การสะท้อนของคลื่น (Reflection) จะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบบนสิ่งกีดขวางที่มีมิติกว้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของสัญญาณ โดยการสะท้อนจากพื้นผิวของโลกและจากสิ่งก่อสร้าง หรือคลื่นที่สะท้อนมาจากผนัง ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นที่อุปกรณ์รับสัญญาณก็ได้

เมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบบนตัวกลางสองตัวที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกแตกต่างกัน คลื่นส่วนหนึ่งจะมีการสะท้อนกลับและคลื่นอีกส่วนหนึ่งจะเคลื่อนที่ทะลุผ่านไป สำหรับในกรณีที่คลื่นตกกระทบบนอากาศปกตินผิวของตัวนำไฟฟ้า คลื่นจะมีการสะท้อนกลับโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน ถ้าคลื่นตกกระทบบนผิวของฉนวนไฟฟ้า พลังงานส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านเข้าไปในผิว พลังงานอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับและจะไม่มีการสูญเสียของพลังงานในการดูคลื่น ซึ่งความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าของคลื่นตกกระทบบนและคลื่นสะท้อนแสดงได้ด้วยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเฟรสเนล (Fresnel reflection coefficient : Γ)



รูปที่ 3.2 การสะท้อนของคลื่น

รูปที่ 3.2 จะแสดงลักษณะการตกกระทบบนและสะท้อนของคลื่น โดยตัวห้อย v และ h จะหมายถึงการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ และตัวห้อย i และ r จะหมายถึงสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบบนและสะท้อนตามลำดับ ค่าเฟอิมิตติวิตี ค่าความแทรกซึม และสภาพการนำของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 จะแทนด้วย $\epsilon_1, \mu_1, \sigma_1$ และ $\epsilon_2, \mu_2, \sigma_2$ ตามลำดับ ในกรณีที่ตัวกลางที่ 1 เป็นอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสำหรับการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวนอน จะแสดงได้ดังนี้

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ ϵ_r เป็นค่าพหุคูณที่สัมพันธ์กันระหว่างตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 และ θ_i เป็นมุมตกกระทบที่ทำให้สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน Γ_h มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะเรียกมุมนี้ว่า มุมของบรูว์สเตอร์ (Brewster angle) โดยสามารถเขียนสมการของค่ามุมบรูว์สเตอร์ ได้ดังนี้

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

การแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศส่งและตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในเส้นทางการมองเห็นในระดับแนวสายตาจะเป็นไปตามสมการการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของฟรีอิต ซึ่งเป็นการพิจารณาคลื่นที่เดินทางผ่านสูญญากาศเท่านั้น แต่สำหรับรูปแบบการสะท้อนของคลื่นบนพื้นดินในรูปที่ 3.3 จะเป็นรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นที่พิจารณาถึงคลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นที่สะท้อนจากพื้นดิน (Two-ray model) โดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในลักษณะนี้ จะสมมุติให้ความยาวคลื่นมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งกีดขวางทั้งหมด ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งมีค่าน้อย และสมมุติให้ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ ค่าของสนามไฟฟ้าที่รับได้ทั้งหมด จะเป็นผลรวมระหว่างสนามไฟฟ้าในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา (E_{LOS}) หรือสนามไฟฟ้าที่ได้รับจากคลื่นตรงและค่าของสนามไฟฟ้าที่สะท้อนจากพื้นดิน (E_r) ที่ระยะทาง d_0 จากรูปกำหนดให้ h_t เป็นความสูงของสายอากาศส่ง และ h_r เป็นความสูงของสายอากาศรับ ดังนั้นจากกฎของการสะท้อนจะแสดงได้ดังนี้

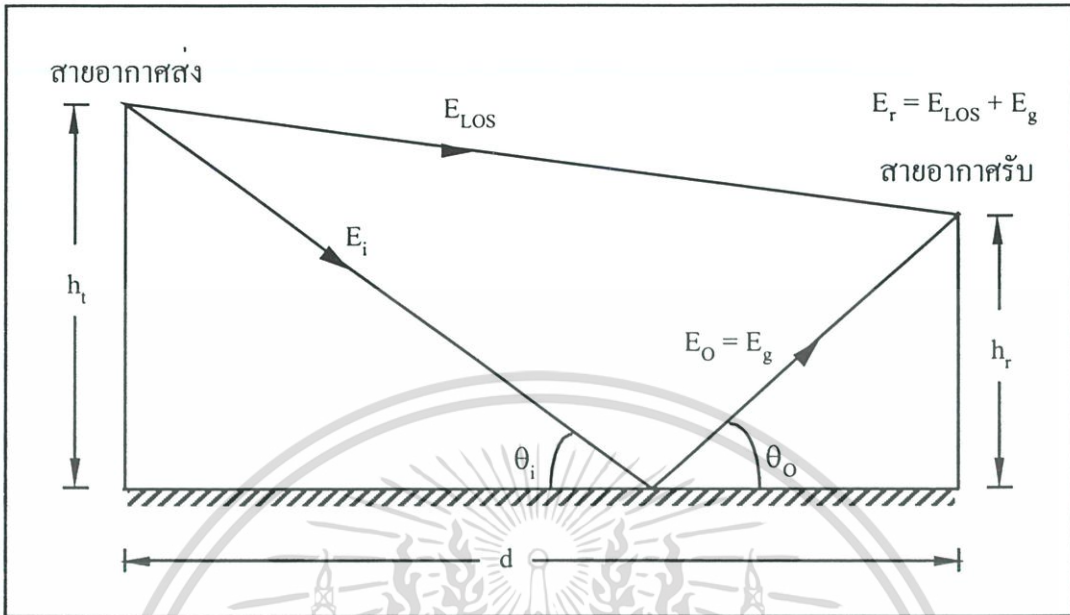
$$\theta_i = \theta_o \quad \text{และ} \quad E_o = \Gamma E_i \quad (3.17)$$

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

$$|E_r(d)| = \frac{2E_{LOS}d_0 \sin \frac{\theta \Delta}{2}}{d} \quad (3.18)$$

โดยค่าความต่างเฟส ($\theta \Delta$) จะสัมพันธ์กับค่าความต่างของเส้นทาง (Δ) ระหว่างเส้นทางของคลื่นตรงและคลื่นสะท้อน ซึ่งมีความสัมพันธ์ ดังนี้

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



รูปที่ 3.3 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก

จากรูปที่ 3.2 ถ้าระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (d) มีค่ามาก จะสามารถประมาณได้ว่า

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

เมื่อ $\frac{\theta \Delta}{2}$ มีค่าน้อยมากๆ และค่าสนามแม่เหล็กที่รับได้ ในหน่วยโวลต์ต่อเมตร จะเป็น

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

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

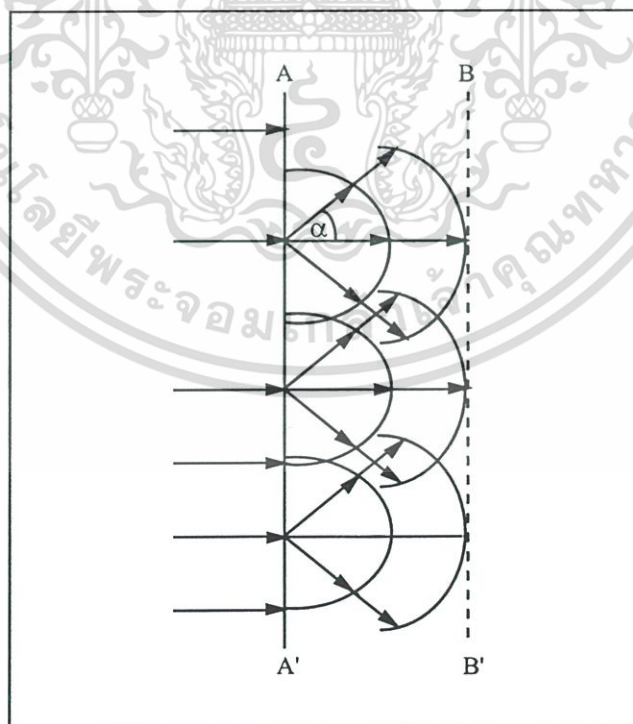
ถ้าระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับมีค่ามากๆ พลังงานที่ได้รับก็จะมีค่าลดลงด้วยอัตรา 40 dB/decade โดยค่าพลังงานที่ได้รับ และค่าของการลดทอนของสัญญาณจะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณจากพื้นดินในหน่วยเดซิเบล ได้ดังสมการที่ 3.22

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

3.2.2 การหักเหของคลื่น

การหักเหของคลื่น (Diffraction) จะเกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งกีดขวางระหว่างเส้นทางการเดินทางของคลื่นระหว่างอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณ โดยพื้นผิวของสิ่งกีดขวางมีมุม หรือมีลักษณะที่ไม่เรียบ คลื่นที่มีการหักเหเนื่องจากสิ่งกีดขวาง จะมีการเคลื่อนที่ผ่านอากาศ และเคลื่อนที่บริเวณด้านหลังของสิ่งกีดขวาง (ทำให้เกิดเขตพื้นที่เงา) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์การหักเหของคลื่นที่ความถี่สูง การหักเหจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางเรขาคณิตของสิ่งกีดขวาง แอมพลิจูด เฟส และการโพลาไรซ์ของคลื่นที่จุดที่มีการหักเห

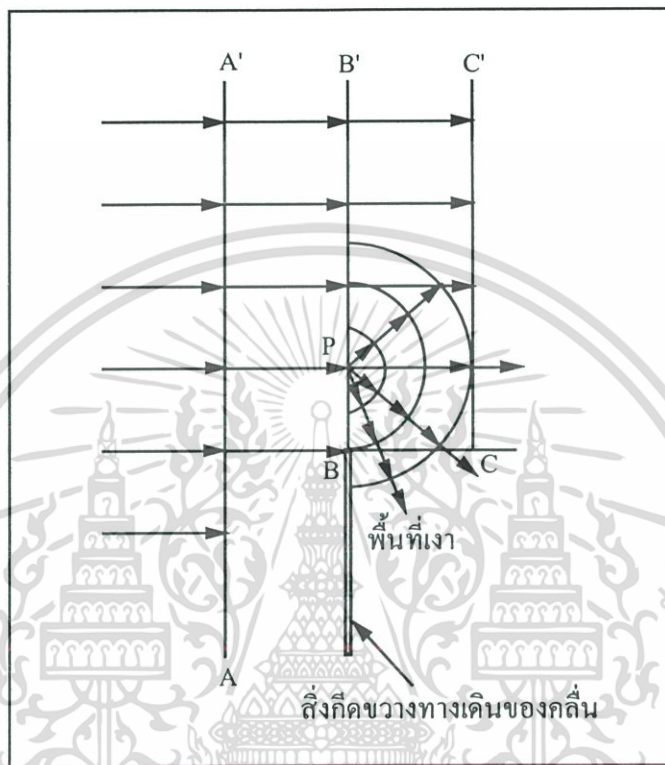
ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการหักเหของคลื่น สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีเบื้องต้นของฮิวเกน (Huygen's principle) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า “ทุกๆ จุดบนคลื่นวิทยุสามารถพิจารณาได้ในลักษณะเช่นเดียวกับแหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สอง ซึ่งสามารถเป็นจุดกำเนิดคลื่นย่อยอื่นๆ และคลื่นย่อยต่างๆ เหล่านี้ จะประกอบกันเป็นหน้าคลื่นใหม่ในเส้นทางของการแพร่กระจายคลื่น การหักเหที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายของหน้าคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดเขตพื้นที่เงา ซึ่งค่าความหนาแน่นของคลื่นที่เกิดจากการหักเหในเขตพื้นที่เงาจะมีการรวมกันแบบเวกเตอร์ของคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นทั้งหมด”



รูปที่ 3.4 หลักการของ Huygen

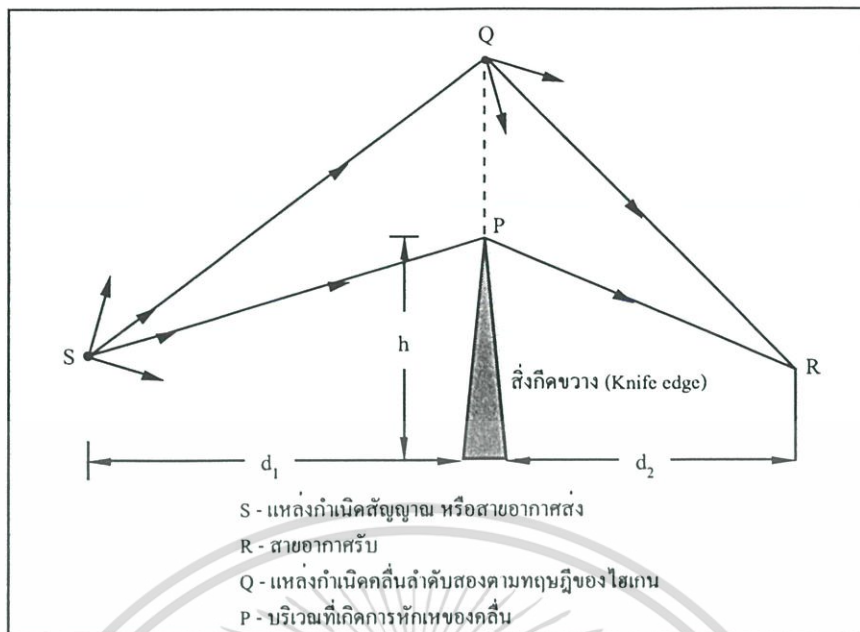
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 จะแสดงให้เห็นถึงหลักการของฮิวเกน โดยจะพิจารณาที่ AA' จะเห็นว่ามีการเกิดคลื่นในแนวต่างๆที่แตกกระจายออกไปในมุม α ซึ่งมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน ค่าแอมพลิจูดของคลื่นต่างๆ จะมีค่าเป็น $(1 - \cos \alpha)$ แต่ในทิศทางตรงข้ามมุม α จะมีค่าเท่ากับศูนย์และมีค่าแอมพลิจูดสูงสุดคือเท่ากับ 2 ในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งมีมุม α เท่ากับ π จะมีค่าแอมพลิจูดต่ำสุด คือมีค่าเท่ากับ 1



รูปที่ 3.5 การหักเหของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง

เมื่อมีเขตพื้นที่เงาเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เช่น ภูเขา หรืออาคาร สิ่งก่อสร้างต่างๆ การลดทอนของสัญญาณจะเกิดจากการหักเหของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆ เหล่านี้ โดยให้ลักษณะของสิ่งกีดขวางเป็นเหลี่ยมแหลม และมีการหักมุม ที่มีลักษณะไม่เรียบ ซึ่งการลดทอนเนื่องจากการหักเหของคลื่นที่เกิดขึ้นบริเวณนี้ จะสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการของฮิวเกน ดังในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.6 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen

ค่าความแรงของสนามไฟฟ้าที่จุด R ในพื้นที่เงา (จะเรียกว่าโซนการหักเห) จะเป็นผลรวมของเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของฮอยเกนในพื้นที่เหนือสิ่งกีดขวาง โดยค่าความแรงของสนามไฟฟ้า (E_d) ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการหักเหของคลื่นที่บริเวณสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมแหลม จะสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$E_d = E_0 F(\nu) \quad (3.23)$$

โดย E_0 เป็นความแรงของสนามไฟฟ้าในอากาศในบริเวณที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง และ $F(\nu)$ เป็นฟังก์ชันของค่าพารามิเตอร์การหักเหของเฟรสเนลและไครซ์ฮอฟฟ์ (Fresnel-Kirchoff diffraction parameter - ν) โดยสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$\nu = h\sqrt{(2/\lambda)(d_1+d_2)/d_1d_2} \quad (3.24)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เนื่องจากลักษณะของสมการการลดทอนเนื่องจากการหักเหที่จะนำไปหาค่าอินทิกรัลของเฟรสเนลนั้น ยากต่อการนำไปคำนวณ ดังนั้นในปี 1985 Lee จึงได้ทำการหาค่าคำตอบโดยประมาณในหน่วยของเดซิเบลไว้ดังนี้

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

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

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

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

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

3.2.3 การกระเจิงของคลื่น

การกระเจิงหรือการแตกกระจายของคลื่น (Scattering) จะเกิดขึ้นเมื่อตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน เช่น สิ่งกีดขวางต่างๆ มีขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น และจำนวนของสิ่งกีดขวางต่อหน่วยปริมาตรมีจำนวนมาก ในการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณในสิ่งแวดล้อมของคลื่นวิทยุ จะประกอบไปด้วยค่าการลดทอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนและการหักเหของคลื่นควบคู่กัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อคลื่นวิทยุดกกระทบพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระ พลังงานสะท้อนจะมีการแตกกระจายออกไปในทุกทิศทาง ดังนั้นสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ต้นไม้ เสาไฟฟ้า และพื้นผิวขรุขระต่างๆ จะได้รับพลังงานที่กระจายออกมา สำหรับพื้นผิวที่มีความขรุขระมากๆ จะใช้การทดสอบโดยหลักการของเรย์ลีย์ (Rayleigh criterion)

3.3 วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ

วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณในระบบการสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ จะสามารถอธิบายได้ 2 ลักษณะ อันได้แก่ การอธิบายโดยการอาศัยวิธีการวิเคราะห์ (Analytical Method) การลดทอนของสัญญาณและการอธิบายโดยวิธีการสังเกต (Empirical Method) โดยสามารถนำมาใช้ในการอธิบายร่วมกันได้ ซึ่งการอธิบายโดยวิธีการสังเกต จะใช้หลักการที่เรียกว่า "Fitting curves" และการอธิบายโดยวิธีการวิเคราะห์ จะสามารถทำได้โดยการวัดระดับความแรงของสัญญาณ และทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวบรวมไว้เป็นข้อมูลทางสถิติ หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลทางสถิตินำมาวิเคราะห์ เมื่อนำทั้งสองวิธีมารวมกัน ก็สามารที่จะหาแฟคเตอร์เบื้องต้นของการลดทอนของสัญญาณได้

3.3.1 วิธีการของ Hata สำหรับเขตขนาดเล็ก

วิธีการหาสมการการลดทอนของ Hata ได้ทำการพัฒนาจากวิธีการของ Okumura เพื่อให้ทำการคำนวณค่าการลดทอนของสัญญาณได้ง่ายขึ้น ถึงแม้ว่ากราฟของ Okumura จะสามารถใช้งานได้จริงในภาคปฏิบัติและมีประสิทธิภาพสูงเมื่อทำการออกแบบระบบ แต่ยังมีความยุ่งยากซับซ้อนในการเขียนโปรแกรมออกแบบระบบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าแฟคเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ดังนั้น Hata จึงได้ทำการแก้ไขค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากกราฟให้มาอยู่ในรูปของสมการลือกการที่

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

โดย f เป็นความถี่ที่ใช้งาน
 d เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ
 h_t เป็นความสูงของสายอากาศส่งที่สถานีฐาน
 h_m เป็นความสูงของสายอากาศรับที่ตัวเครื่อง โทรศัพท์เคลื่อนที่
 C_M มีค่าเท่ากับ 0 dB สำหรับเมืองที่มีขนาดเล็กและบริเวณปริมณฑล และมีค่าเป็น 3 ภายในตัวเมือง
 $a(h_m)$ เป็นแฟคเตอร์สำหรับแก้ไขค่าความสูงของสายอากาศของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เทียบกับสถานะพื้นฐานที่เป็นเขตพื้นที่ในเมือง

ในเมืองขนาดเล็กและขนาดกลาง

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

ในเมืองขนาดใหญ่

$$a(h_m) = 8.29 [\log (1.54 h_m)^2] - 1.1 \quad \text{for } f \leq 200 \text{ MHz} \quad (3.33)$$

$$a(h_m) = 3.2 [\log (11.75 h_m)^2] - 4.97 \quad \text{for } f \geq 400 \text{ MHz} \quad (3.34)$$

3.3.2 วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami

วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami เป็นวิธีการหาค่าสมการการลดทอนที่ใช้อาศัยทั้ง การทดลองและการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งรูปแบบของสมการการลดทอนของสัญญาณจะประกอบไปด้วยค่าการลดทอนผ่านสูญญากาศ การลดทอนเนื่องจากการหักเห และการลดทอนเนื่องจากระดับความสูงที่แตกต่างกันระหว่างหลังคาของอาคารสิ่งกีดขวางรอบๆ ตัวเครื่องโทรศัพท์ โดยวิธีการดังกล่าวได้พัฒนามาจากวิธีการของ Walfish วิธีการของ Bertoni และวิธีการของ Ikegami ซึ่งได้มีการทดลองเพิ่มเติมและเปรียบเทียบกับค่าระดับของสัญญาณที่วัดได้จริงในตัวเมือง โดยมีสถานะเบื้องต้น ดังนี้

1. ความถี่ในการใช้งานอยู่ในช่วง 800 MHz ถึง 2000 MHz
2. ความสูงของสายอากาศส่ง (h_p) 4 ถึง 50 เมตร
3. ความสูงของสายอากาศรับหรือตัวเครื่องโทรศัพท์ (h_m) 1 ถึง 3 เมตร
4. ระยะทาง (d) 0.02 กิโลเมตรถึง 5 กิโลเมตร
5. กำหนดให้ความสูงของหลังคาตึกเป็น h_{roof} มีหน่วยเป็นเมตร
6. กำหนดให้ความกว้างของถนนเป็น w มีหน่วยเป็นเมตร
7. กำหนดให้ระยะห่างระหว่างตึกเป็น b มีหน่วยเป็นเมตร
8. กำหนดให้การจัดเรียงของถนนตามเส้นทางของคลื่นในแนวระดับเป็น Φ

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

$$L_b = L_f + L_{rts} + L_{msd} \quad (3.35)$$

โดย L_f เป็นการลดทอนของสัญญาณเมื่อผ่านอากาศ มีค่าดังสมการ

$$L_f = 32.44 + 20 \log d + 20 \log f \quad (3.36)$$

L_{rts} เป็นการลดทอนของสัญญาณจากการหักเหและการกระเจิงจากหลังคาตึก

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

L_{cri} เป็นการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการจัดเรียงของถนน

$$L_{cri} = -10 + 0.35\phi \quad 0 \leq \phi \leq 35 \text{ องศา} \quad (3.38)$$

$$L_{cri} = 2.5 + 0.075(\phi - 35) \quad 35 \leq \phi \leq 55 \text{ องศา} \quad (3.39)$$

$$L_{cri} = 4 + 0.114(\phi - 55) \quad 55 \leq \phi \leq 90 \text{ องศา} \quad (3.40)$$

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

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_d + k_d \log d + k_f \log f - 9 \log b \quad (3.41)$$

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

$$L_{bsh} = 0 \quad H_b \leq H_{roof} \quad (3.43)$$

$$k_a = 54 \quad H_b > H_{roof} \quad (3.44)$$

$$k_a = 54 - 0.8(H_b - H_{roof}) \quad d \geq 0.5 \text{ และ } H_b \leq H_{roof} \quad (3.45)$$

$$k_a = 54 - 0.8(H_b - H_{roof})(d/0.5) \quad d < 0.5 \text{ และ } H_b \leq H_{roof} \quad (3.46)$$

$$k_d = 18 \quad H_b > H_{roof} \quad (3.47)$$

$$k_d = 18 - 15(H_b - H_{roof})/H_{roof} \quad H_b \leq H_{roof} \quad (3.48)$$

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

สำหรับตัวเมืองขนาดเล็กและบริเวณศูนย์กลางปริมาตรที่มีต้นไม้พอสมควร

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

สำหรับศูนย์กลางของตัวเมือง

ในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา จะมีสมการการลดทอนของสัญญาณ ดังนี้

$$L_{LOS} = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f \quad (3.51)$$

3.3.3 วิธีการของ C.Y. Lee

วิธีการหาค่าการลดทอนโดยอาศัยการคาดคะเนแบบจุดต่อจุด จะสามารถทำได้ด้วยการวัดระดับความแรงของสัญญาณเทียบกับระยะทางในพื้นที่ต่างๆ และหาค่าระดับความแรงของสัญญาณเฉลี่ยที่มีการลดลงตามระยะทางในลักษณะของฟังก์ชันเชิงเส้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าการลดทอนเฉลี่ยของสัญญาณและระยะทาง จะแสดงได้ดังนี้

$$L(\text{dB}) = L_0 + 10\gamma \log (d/d_0) \quad (3.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

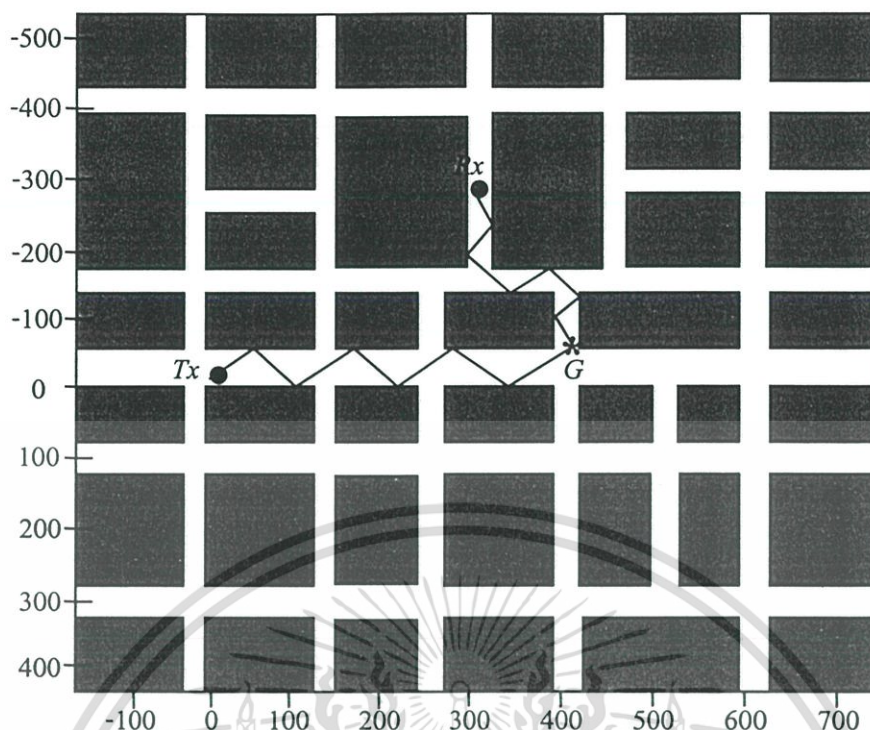
โดย L คือ การลดทอนของสัญญาณที่ระยะทางใดๆ (d) มีหน่วยเป็นเดซิเบล L_0 คือ การลดทอนของสัญญาณที่ระยะทางอ้างอิง (d_0) ในการสื่อสารระบบเซลลูลาร์จะใช้ระยะทางอ้างอิงเป็น 1 กิโลเมตร หรือ 1 ไมล์ (จากหลักการของ Lee ในปี 1985) ส่วนระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีทีที่ใช้เทคนิคของเซลล์ขนาดเล็กจะใช้ระยะทางอ้างอิงที่ระยะ 1 เมตร โดยการลดทอนของสัญญาณ L_0 สำหรับระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีทีจะมีค่าเท่ากับ 38.0 dB (คำนวณได้จากสมการ 3.56) และค่า γ คือค่าความชันของการลดทอนของสัญญาณ ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันออกไปตามสภาพแวดล้อมของการแพร่กระจายคลื่น ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความชันของสมการการลดทอนสำหรับสภาพแวดล้อมในพื้นที่ต่างๆ

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

3.3.4 วิธีการหาการลดทอนของสัญญาณโดยใช้หลักการ Ray tracing หลักการอิมเมจ และหลักการ UTD

ในรูปที่ 3.7 จะแสดงเส้นทางการเดินทางของคลื่นที่ได้กำหนดขึ้น โดยตำแหน่งของสายอากาศส่งสัญญาณ (T_X) จะติดตั้งไว้ที่ความสูง h_t เมตรเหนือพื้นผิวถนนและมีระยะห่างจากผนังตึกที่ใกล้ที่สุดเป็น X_0 เมตร ส่วนสายอากาศรับสัญญาณหรือตัวเครื่องโทรศัพท์ (R_X) จะมีความสูงเป็น h_r เมตรเหนือพื้นผิวถนน โดยตำแหน่งของ R_X จะมีการเคลื่อนที่ไปตามถนนสายหลักและถนนสายรองที่ตั้งฉากและขนานกับถนนสายหลัก ซึ่งตำแหน่งต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยค่าแอมพลิจูดตามแนวตั้งและค่าเฟสของค่าความแรงของสัญญาณจะนำไปหาค่ากำลังงานของสัญญาณ



รูปที่ 3.7 เส้นทางการเดินทางของคลื่น

จากรูปที่ 3.7 แสดงเส้นทางเดินทางของคลื่น โดยคลื่นจะเดินทางผ่านเส้นทางที่เกิดการสะท้อนเนื่องจากพื้นผิวถนบนเพียงครั้งเดียว กำหนดให้ $T_1, T_2, T_3, \dots, T_i, T_i^G, T_{i+1}, \dots, T_j$ เป็นจุดอิมเมจ อันเนื่องมาจากการเกิดการสะท้อนจากเส้นทางเดินทางของสัญญาณ โดยสัญลักษณ์ตัวห้อยจะแสดงให้เห็นว่าจุดอิมเมจเกิดขึ้นเป็นครั้งที่ 1 ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ตามลำดับต่อไปเรื่อยๆ และ T_i^G จะแสดงจุดอิมเมจอันเนื่องมาจากการสะท้อนของพื้นผิวถนบนหลังจากที่มีการสะท้อนจากผนังมาแล้ว i ครั้งจาก T_x

กำหนดให้ใช้สัญลักษณ์

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

$$\text{และ } T_m = [X_m, Y_m, -h_t] \quad \text{สำหรับ } m = i+1, i+2, \dots, j$$

เมื่อ j เป็นจำนวนครั้งที่เกิดการสะท้อนเนื่องจากผนัง

$[X_m, Y_m]$ เป็นตำแหน่งของอิมเมจบนแผนที่ซึ่งหาได้โดยใช้หลักการอิมเมจ

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

ผิวฉนวน เป็นต้น ซึ่งจุดอิมเมจ $T_1, T_2, T_3, \dots, T_i, T_i^G, T_{i+1}, \dots, T_j$ ต่างๆเหล่านี้ เป็นจุดอิมเมจที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นเดียวกันสำหรับการสะท้อนหลายๆ ครั้งที่ผนังและพื้นผิวฉนวน

สำหรับการหักเหที่เกิดขึ้นบริเวณมุมตึก สามารถอธิบายได้ด้วยวิธีผ่านการสะท้อนหลายๆ ครั้ง ก่อนที่จะเกิดการหักเหที่จุด BC จากกฎของการหักเห เมื่อคลื่นตกกระทบสิ่งกีดขวาง จะทำให้เกิดการหักเหและคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นก็มีจำนวนมากเป็นอนันต์ ซึ่งการเดินทางของคลื่นที่เกิดขึ้นเหล่านี้ไปยัง R_X จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ R_X ซึ่งมีความสัมพันธ์ T_j และ BC จุดที่เกิดการหักเหอย่างแท้จริง หรือจุด Q_e ที่มุมตึก BC จะสามารถอธิบายได้โดยการใช้ทฤษฎีเบื้องต้นของ Fermat

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

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

$$E^{r,d}(s) = E^i(Q) \cdot H(Q, S) \cdot e^{-jks} \quad (3.53)$$

$$\begin{aligned} H(Q, S) &= R \cdot A_s && \text{สำหรับการสะท้อน} \\ H(Q, S) &= D \cdot A_d && \text{สำหรับการหักเห} \end{aligned} \quad (3.54)$$

โดย R เป็นสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนทั้งแนวตั้งและแนวนอน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E^r(s) = E^i(Q)R.A_s(s)e^{-jks} \quad (3.55)$$

$$R = R_h e^{i\perp} e^{r\perp} + R_v e^{i\parallel} e^{r\parallel} \quad (3.56)$$

- A_s เป็นแฟคเตอร์การแพร่กระจายสำหรับการสะท้อนจากพื้นผิว
 k เป็นค่าคงที่ของการแพร่กระจายคลื่น มีค่าเท่ากับ $2\pi/\lambda$
 s เป็นระยะทางจากจุด Q ไปยังจุด S
 λ เป็นความยาวคลื่น

$$A_s(s) = \frac{\rho}{(s+\rho)} \quad (3.57)$$

$$R_h(\varphi, \varepsilon) = \frac{\sin(\varphi) - \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}}{\sin(\varphi) + \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}} \quad (3.58)$$

$$R_v(\varphi, \varepsilon) = \frac{\varepsilon \sin(\varphi) - \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}}{\varepsilon \sin(\varphi) + \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}} \quad (3.59)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_r - j60\sigma\lambda \quad (3.60)$$

- ρ เป็นรัศมีของเส้นโค้งของหน้าคลื่นที่มีการสะท้อน

$$E^d(s) = E^i(Q)D.A_d(s)e^{-jks} \quad (3.61)$$

- A_d เป็นแฟคเตอร์การแพร่กระจายสำหรับการหักเหที่ขอบสิ่งกีดขวาง

$$A_d = \sqrt{\frac{\rho}{s(\rho+s)}} \quad (3.62)$$

- D เป็นสัมประสิทธิ์ของการหักเหทั้งแนวตั้งและแนวนอน

$$D = -D_h \beta'_0 \beta_0 - D_v \phi' \phi \quad (3.63)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D_{v,h}((L, \phi, \phi', \beta_0, n)) = D_1 + D_2 + R_{v,h}(D_3 + D_4) \quad (3.64)$$

$$D_1 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k \sin(\beta_0)}} \cot \left[\frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n} \right] F[kLa^+(\phi - \phi')] \quad (3.65)$$

$$D_2 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k \sin(\beta_0)}} \cot \left[\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n} \right] F[kLa^-(\phi - \phi')] \quad (3.66)$$

$$D_3 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k \sin(\beta_0)}} \cot \left[\frac{\pi + (\phi + \phi')}{2n} \right] F[kLa^+(\phi + \phi')] \quad (3.67)$$

$$D_4 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k \sin(\beta_0)}} \cot \left[\frac{\pi - (\phi + \phi')}{2n} \right] F[kLa^-(\phi + \phi')] \quad (3.68)$$

$$L = \frac{ss'}{(s+s')} \sin^2(\beta_0) \quad (3.69)$$

s เป็นระยะทางจากจุด Q ไปยังจุด S
 s' เป็นระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นไปยังจุด Q

$$F(x) = 2j\sqrt{x} \int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-ju^2} du \quad (3.70)$$

$$F(x) = F^*(|x|) \quad \text{เมื่อ } x < 0 \quad (3.71)$$

$$a^\pm(\beta^\pm) = 2\cos^2 \left(\frac{2\pi n N^\pm - \beta^\pm}{2} \right) \quad (3.72)$$

$$\beta^\pm = \phi \pm \phi' \quad (3.73)$$

N^\pm เป็นอินทิกรัลที่เป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2\pi n N^+ - (\phi \pm \phi') = \pi$$

$$2\pi n N^- - (\phi \pm \phi') = -\pi$$

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

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

$$P_r = A.S = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi} \left| \frac{E_r}{Z_0} \right|^2 = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \frac{E_r}{E_i} \right|^2 \quad (3.74)$$

เมื่อ

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

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

$P_{t,r}$ เป็นกำลังงานในการส่งและรับสัญญาณ ตามลำดับ

$G_{t,r}$ เป็นค่าเกนหรือกำลังขยายในการส่งและรับสัญญาณ ตามลำดับ

A แอมพลิจูดของสายอากาศ

S พอยนทิงเวกเตอร์หรือความหนาแน่นของกำลังงาน

E_r สนามไฟฟ้าที่ตัวรับสัญญาณ R_x

θ มุมโพลาไรซ์

$\sin(\theta)$ เป็นรูปแบบของสายอากาศ

ดังนั้น ค่าการลดทอนของสัญญาณจะสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$L = \frac{P_r}{P_t G_t G_r} = 20 \log \left| \frac{\lambda}{4\pi G_t G_r} \cdot \frac{E_r}{E_i} \right| \quad (3.75)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการที่นำเสนอและผลการทดลอง

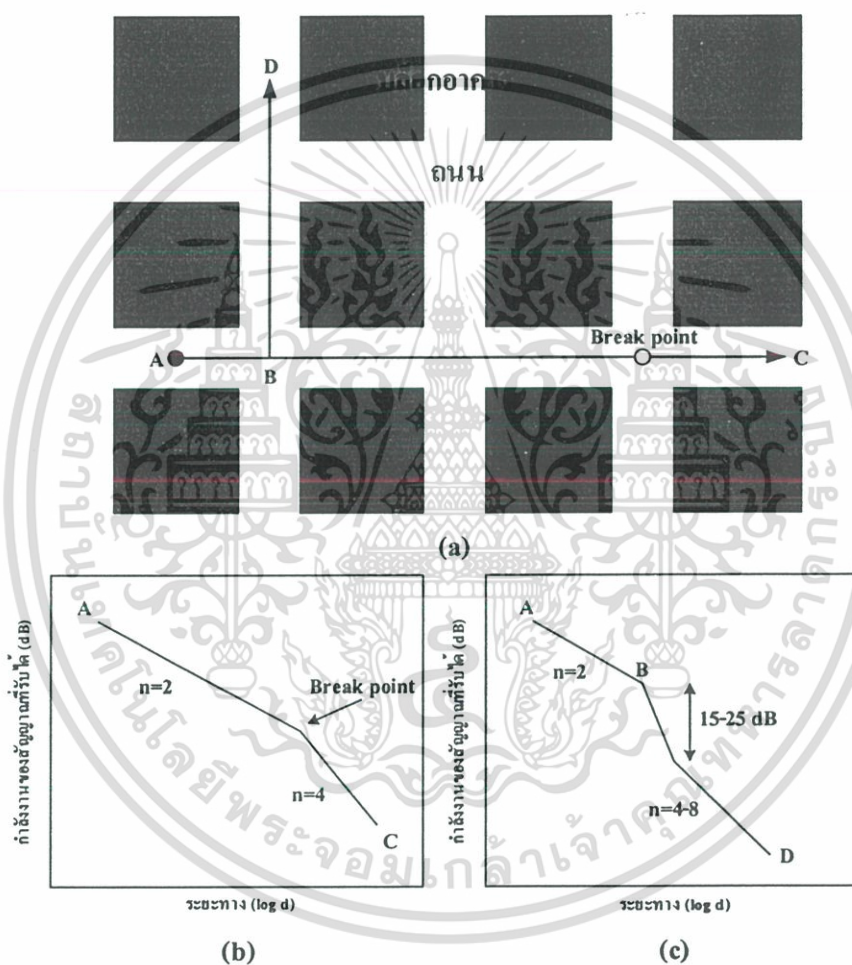
การรองรับบริการของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีที ในบริเวณสามแยกและสี่แยก ซึ่งมีปริมาณการใช้งานที่ค่อนข้างสูงเนื่องจากสภาพการจราจรที่ติดขัดจึงมีความต้องการใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลค่อนข้างมาก เพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ระดับสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์พีซีทีสามารถรับได้จากแต่ละสถานีเซลล์ ควรจะมีระดับมากกว่า 25 dB μ V ซึ่งเป็นระดับสัญญาณที่กำหนดให้เครื่องโทรศัพท์เกิดการข้ามเซลล์ เพื่อให้มีการใช้งานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการวางตำแหน่งสถานีเซลล์ที่เหมาะสมในบริเวณสามแยกและสี่แยกนั้น จะต้องพิจารณากำลังงานของสัญญาณที่แพร่กระจายในบริเวณดังกล่าว สถานีเซลล์ที่ใช้งานในระบบโทรศัพท์พีซีที ที่ให้บริการในโหมดสาธารณะนั้นจะเป็นแบบไมโครเซลล์มีกำลังส่ง 200 มิลลิวัตต์และ 20 มิลลิวัตต์ โดยมีรัศมีของพื้นที่บริการในกรณีใช้งานในพื้นที่สาธารณะประมาณ 50-300 เมตร ขึ้นอยู่กับชนิดของสถานีเซลล์[1] ในพื้นที่เขตเมืองนั้น สิ่งแวดล้อมต่างๆ ส่วนมากจะเป็นตัวอาคารที่อยู่บริเวณสองข้างถนน การแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์นั้นจะต้องมีการแพร่กระจายไปตามเส้นทางในระดับแนวสายตา (Line-of-Sight: LOS) และเส้นทางในระดับแนวนอกสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS) เนื่องจากบริเวณสามแยกและสี่แยกส่วนใหญ่จะมีตัวอาคารตั้งอยู่บริเวณสี่แยกทำให้เกิดการบดบังการแพร่กระจายคลื่นในถนนที่ตัดกันคลื่นจะเกิดการเลี้ยวเบนจากมุมเลี้ยวของตัวอาคารซึ่งเป็นการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวนอกสายตา โดยคลื่นในเส้นทางระดับแนวสายตาจะเกิดการสะท้อนแล้วเลี้ยวเบนเข้าไปยังเส้นทางระดับแนวอกสายตา และถ้ามีอาคารอยู่บริเวณสองข้างในเส้นทางระดับแนวอกสายตา ก็จะทำให้เส้นทางของคลื่นสะท้อนไปมาระหว่างตัวอาคารด้วย ซึ่งจะทำให้การเดินทางของคลื่นมีระยะเพิ่มมากขึ้นตามการสะท้อนซึ่งจะส่งผลให้กาลคตอนของสัญญาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการคำนวณหาพื้นที่ครอบคลุมของสถานีเซลล์บริเวณสามแยกและสี่แยกเพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการได้ทั้งในกรณีของระดับแนวสายตา และระดับแนวอกสายตาควรใช้วิธีการที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอทฤษฎีในการคำนวณกาลคตอนที่มีอยู่แล้วมาช่วยในการพิจารณาปรับปรุงประสิทธิภาพสถานีเซลล์

4.1 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสถานีเซลล์แบบไมโครเซลล์ [17]

การศึกษาเรื่องการแพร่กระจายคลื่นของเซลล์แบบไมโครเซลล์นั้นจะสมมุติให้ถนนเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีจุดตัดกันด้วยบล็อกรูปของอาคารดังรูปที่ 4.1 (a) และมีลักษณะของกำลังงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่รับได้ตามระยะห่างของเครื่องโทรศัพท์และสถานีเซลล์ดังรูปที่ 4.1 (b) จะเห็นได้ว่ากราฟมีสองความชันที่ต่างกันอย่างชัดเจนโดยหลังจากจุดเปลี่ยนแปลง (Breakpoint) Path Loss ใน Free Space ค่า n จะมีค่าประมาณ 4 ส่วนรูปที่ 4.1 (c) เมื่อเครื่องรับตรงมุมจากถนนเส้นทางระดับแนวสายตาไปยังเส้นทางระดับแนวถนนนอกสายตา แล้วกำลังงานที่รับได้จะลดลงอย่างทันทีทันใดที่ค่าประมาณ 15-25 dB ซึ่งค่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อความกว้างของถนน และระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับต่างๆ กัน



รูปที่ 4.1 (a) รูปแบบของถนนไมโครเซลล์ในเขตพื้นที่เมือง

(b) ลักษณะกราฟ Path Loss บนเส้นทางระดับแนวสายตา

(c) ลักษณะกราฟ Path Loss บนเส้นทางระดับแนวถนนนอกสายตา

4.2 การวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวสายตา

และระดับแนวนอกสายตา

การแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องรับนั้นมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวสายตา และการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวนอกสายตา

4.2.1 การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวสายตา (Line-of-Sight: LOS) [18]

การหาค่าสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่นในระดับแนวสายตาจะใช้วิธีการ Log-Distance Path Loss ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการวัดระดับกำลังงานของสัญญาณเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละจุดเทียบกับระยะทางในพื้นที่ต่างๆ แล้วหาค่าระดับกำลังงานของสัญญาณที่มีการลดลง หรือค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางในลักษณะของฟังก์ชันเชิงเส้นด้วยการใช้สเกลล็อกการิทึม (Log-normal distribution) ในหน่วยเดซิเบล โดยกำหนดให้ค่าสูญเสียในเส้นทางเฉลี่ยที่ระยะทางระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ d แปรผันตามสัดส่วนระหว่าง d กับระยะทางอ้างอิง d_0 ยกกำลัง n

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

ซึ่งจะเขียนในรูปแบบของเดซิเบลดังนี้

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 การแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวอนกสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS)[19]

การสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวอนกสายตาของไมโครเซลล์ เนื่องมาจากอาคารต่างๆ ที่อยู่บริเวณเส้นทางการเดินทางของคลื่น ทำให้คลื่นที่เดินทางในระดับแนวอนกสายตา ตามระยะทาง d_1 สะท้อนกับผนังของอาคารแล้วเลี้ยวเบนไปตามเส้นทางระดับแนวอนกสายตา ในระยะทาง d_2 ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แบบจำลองเส้นทางของคลื่นที่เดินทางในระดับแนวอนกสายตาจากการสะท้อนอาคารในเส้นทางระดับแนวอนกสายตา

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

ค่ากำลังงานที่รับได้ จากเส้นทางของคลื่นหนึ่งเส้นทางที่เดินทางในระยะทาง d_2 จะหาได้จากสมการที่ (4.4) โดยที่ค่าของ R คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนรวมทั้งหมดของหนึ่งเส้นทางคลื่น

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

สำหรับสนามไฟฟ้าที่ตั้งฉากกับแนวตกกระทบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

โดยที่

$$\varepsilon = \varepsilon_r - j60\sigma\lambda \quad (4.6b)$$

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

γ คือ มุมที่สะท้อนระหว่างเส้นทางของคลื่นกับพื้นผิวที่สะท้อนในเส้นทางระดับแนวสายตา

δ คือ มุมที่สะท้อนระหว่างเส้นทางของคลื่นกับพื้นผิวที่สะท้อนในเส้นทางระดับแนวอกสายตา

N คือ จำนวนครั้งของการสะท้อนในเส้นทางระดับแนวสายตา

M คือ จำนวนครั้งของการสะท้อนในเส้นทางระดับแนวอกสายตา

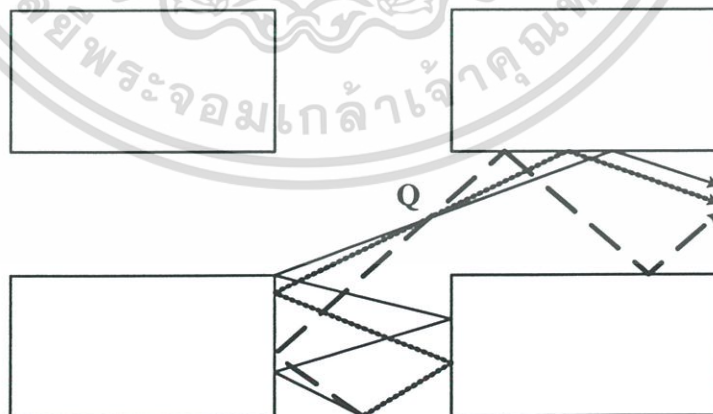
D คือ ระยะเส้นทางของคลื่น

P_t คือ กำลังงานของเครื่องส่ง

P_r คือ กำลังงานที่รับได้ที่เครื่องรับ

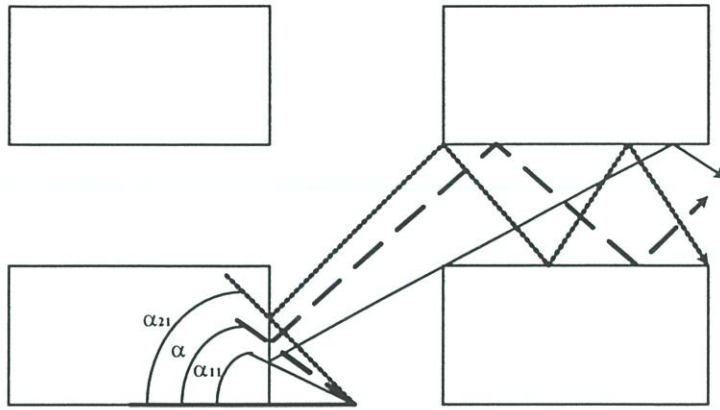
ε_r คือ สภาพยอมสัมพัทธ์ของตัวสะท้อนคลื่น

σ คือ สภาพนำของตัวสะท้อนคลื่น (simen/meter)



รูปที่ 4.3 เส้นทางของคลื่นที่ผ่านจุด Q

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

ในการทำแบบจำลองเส้นทางของคลื่นที่เข้าไปยังเส้นทางระดับแนวนอกสายดาให้ง่ายขึ้นจากรูปที่ 4.3 จุด Q คือ ตัวอย่างจุดที่เส้นทางของคลื่นรวมกันก่อนมุมแล้วผ่านเข้าไปยังเส้นทางระดับแนวอกสายดา โดยที่รูปที่ 4.4 จะแสดงตัวอย่างมุม α_{21}, α_{11} ซึ่งเป็นมุมที่มากที่สุด และน้อยที่สุดที่สะท้อนในเส้นทาง d_1 เพียงครั้งเดียวแล้วเข้าไปยังเส้นทางระดับแนวอกสายดา ตามลำดับ และมุม α เป็นมุมสะท้อนของเส้นทางของคลื่นที่ผ่านจุด Q ซึ่งคาดหมายว่าเส้นทางของคลื่นเหล่านั้นจะไปถึงยังเครื่องรับ ระยะทางและมุมตกกระทบของเส้นทางคลื่นที่ผ่านจุด Q ซึ่งแพร่กระจายตามเส้นทางระดับแนวอกสายดาจะประมาณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ 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 คือสัดส่วนของจำนวนเส้นทางของคลื่นที่เข้าไปยังเส้นทางระดับแนวอกสายดา โดยที่ $\varphi_i \leq 1$ ค่าสัมประสิทธิ์เดียวกันใช้คำนวณแต่ละเส้นทางของคลื่นที่ผ่านจุด Q สำหรับเส้นทางของคลื่นที่ไม่สะท้อนในระดับแนวอกสายดา $\varphi_i = 1$ สมการค่าสูญเสียเฉลี่ย L_r สำหรับแบบจำลองเส้นทางระดับแนวอกสายดา คือ

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

เมื่อเครื่องรับเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางระดับแนวอกสายดา สมการของค่าสูญเสียเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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 ค่าสูญเสียตลอดเส้นทางระดับแนวนอกสายตา
- A คือ ค่าลดทอนจากมุมอาคารหาได้จากค่า L_r
- $A = L_r$ (หลังจากมุมเดียวของอาคาร) $- L_r$ (ก่อนมุมเดียวของอาคาร)
- B คือ ค่าความชัน ในเส้นทางระดับแนวนอกสายตา
- d_1 คือ ระยะทางจากสถานีเซลล์ถึงมุมเดียว
- d_2 คือ ระยะทางตามเส้นทางระดับแนวนอกสายตา
- k คือ จำนวนเส้นทางของคลื่น

4.3 การวัดและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.3.1 หลักการวัด

การทดลองในงานวิจัยนี้จะใช้บริเวณพื้นที่ถนนพญาไท โดยมีเส้นทางทดสอบตามรูปที่ 4.5 ทำการวัดสัญญาณสถานีเซลล์ขนาดกำลังส่ง 20 mW ที่ใช้สายอากาศแบบ omni directional เกน 4 dBi 2 สายอากาศ สถานีเซลล์หมายเลข 020790770 (CS1) ติดตั้งสูงจากพื้น 4.5 เมตร จากนั้นทำการวัดรวบรวมผลด้วยเครื่อง LEADER PHS Field Analyzer LF 960 วัดระดับสัญญาณจากช่องสัญญาณควบคุม (Control Channel: CCH) ช่องที่ 75 ความถี่ 1917.35 MHz ซึ่งเป็นช่องสัญญาณควบคุมที่ใช้ในเข้าสู่ระบบ และใช้ในการข้ามเซลล์ของบริษัทเทเลคอมเอเชีย คอปอเรชั่นจำกัด (มหาชน) ซึ่งเป็นความถี่ที่สูงที่สุดที่ใช้งานของระบบจะมีการลดทอนจากความถี่สูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.6

โดยมีสายอากาศรับของเครื่องวัดห่างจากพื้น 1.5 เมตร ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาข้อมูลระดับสัญญาณที่ได้ในช่วงเวลาที่มีปริมาณรถค่อนข้างมาก (เก็บข้อมูลช่วงเวลาประมาณ 08.00 น.

ถึง 09.00 น.) ทำการวัดเก็บข้อมูลสัญญาณทุกๆ 1 เมตรจุดละ 50 ครั้ง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการวัดแต่ละจุดมาทำการหาค่ามัธยฐาน (median) ดังสมการ

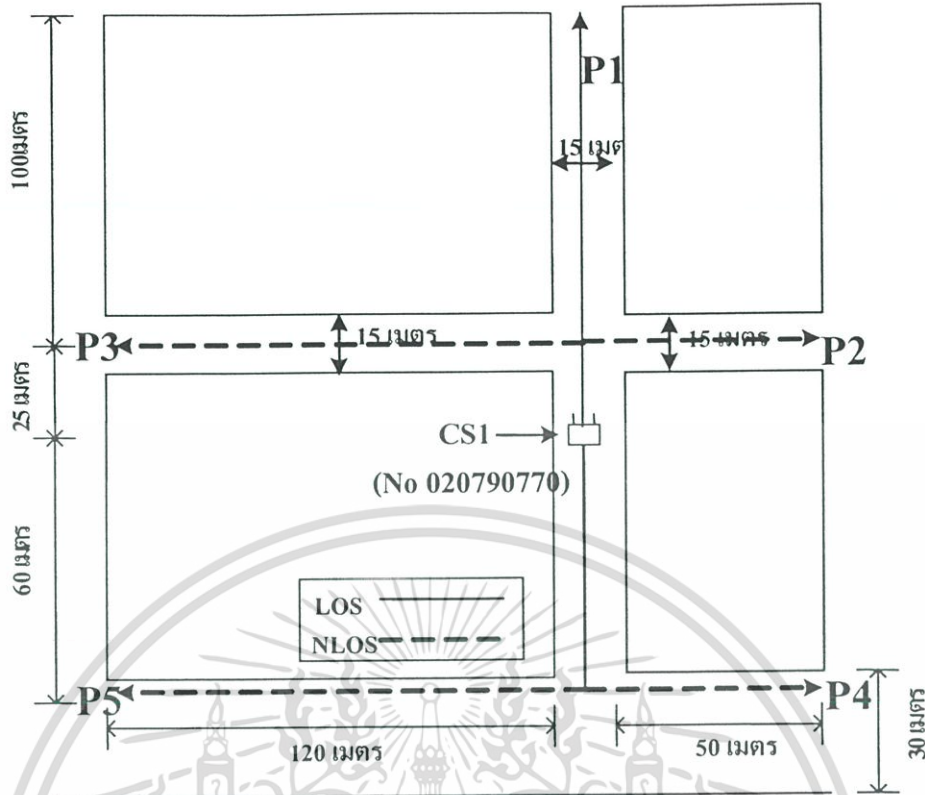
$$\begin{aligned}\bar{X}(\text{Mean}) &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \\ &= (X_1 + X_2 + \dots + X_N) / N\end{aligned}\quad (4.11)$$

$$\begin{aligned}\sigma^2(\text{Variance}) &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \\ &= [(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_N - \bar{X})^2] / (N - 1)\end{aligned}\quad (4.12)$$

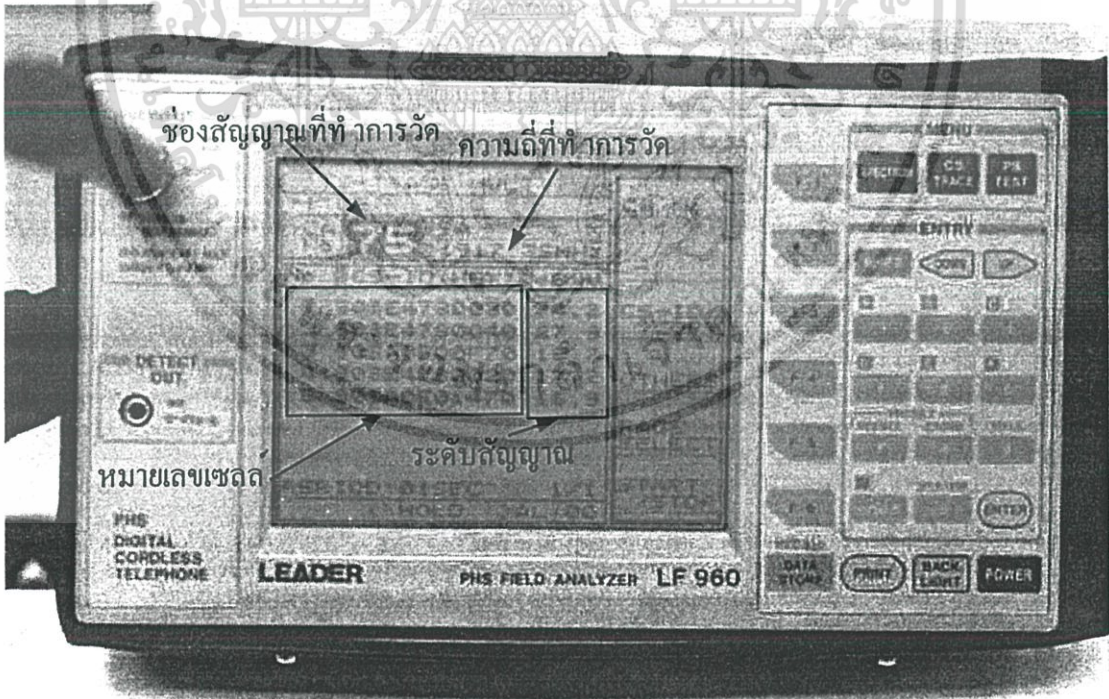
$$\sigma(\text{Std.}) = \sqrt{\sigma^2}\quad (4.13)$$

เมื่อ $\{X_1, \dots, X_N\}$ คือ ชุดข้อมูลลำดับที่ 1 ถึง N
N คือ จำนวนชุดข้อมูลทั้งหมด

จากนั้นนำค่าที่ได้ไปทำการพล็อตกราฟเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการวัดกับผลที่ได้จากการคำนวณจากสมการที่ (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, ทาง P2 มีระยะทาง $d_1 = 25$ 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



รูปที่ 4.5 เส้นทางในการทดสอบ CS1



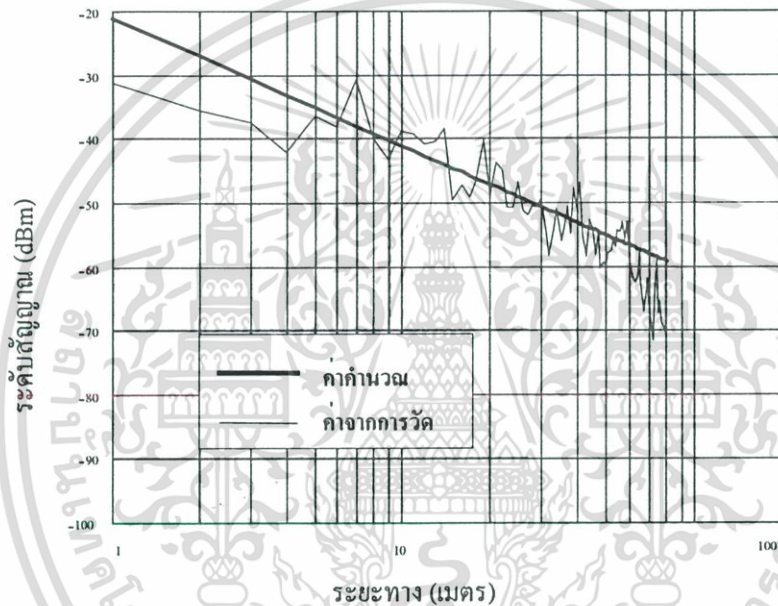
รูปที่ 4.6 เครื่องมือวัดค่าระดับสัญญาณที่ใช้ในการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่าสูญเสียของสัญญาณในสมการที่ (4.2) กรณีเส้นทาง LOS (d_1) นั้น จะใช้ค่า $d_0 = 100$ เมตร เพิ่มค่า d ครั้งละ 1 เมตร ตามระยะทาง LOS ของแต่ละเส้นทาง และใช้ค่าความถี่ 1917.35 MHz เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดแสดงดังรูปที่ 4.7

การคำนวณในสมการที่ (4.5)-(4.8) กรณีเส้นทาง NLOS (d_2) นั้น จะใช้ค่า $\epsilon_r = 3$ [20], ค่า $\sigma = 100$ (สำหรับอาคาร $\sigma \gg 1$) [28] ความถี่ที่ 1917.350 MHz และค่าตัวแปรต่างๆ ตามตารางที่ 4.1 ซึ่งได้มาจากการสร้างแบบจำลองในกระดาษกราฟโดยจะได้เส้นทางของคลื่นที่เดินทางตามเส้นทางในรูปที่ 4.5 จำนวน 2 เส้นทาง (Ray No.1,2)

4.3.2 ผลการทดลอง



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบระดับสัญญาณที่วัดกับการคำนวณจากสมการ (4.2) ในเส้นทาง P1

ตารางที่ 4.1 ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณค่าการสูญเสียในระดับแนวอนกสายตา ของ CS1

	เส้นทาง P2		เส้นทาง P3		เส้นทาง P4		เส้นทาง P5	
Ray No.	1	2	1	2	1	2	1	2
γ	0°	40°	0°	40°	0°	15°	0°	15°
δ	75°	50°	75°	50°	84°	75°	84°	75°
N	0	1	0	1	0	1	0	1
M	11	3	11	3	16	6	16	6
D	224 m	110 m	224 m	110 m	570 m	273 m	570 m	273 m
φ_i	1	0.1166	1	0.1166	1	0.0388	1	0.0388

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าลดทอนจากมุมอาคารที่คำนวณได้แต่ละเส้นทางทดสอบของ CS1

เส้นทาง	L_r (หลังมุมเลี้ยว)	L_r (ก่อนมุมเลี้ยว)	A
P2	23.5376 dB	6.1 dB	17.4376 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

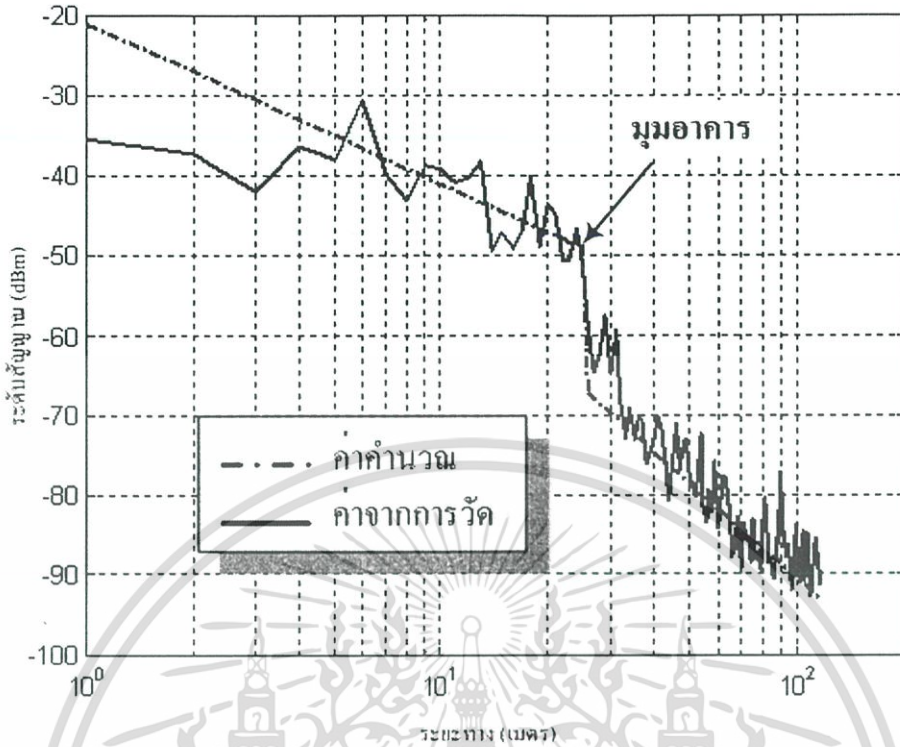
ผลจากการคำนวณที่ได้จากตารางที่ 4.2 ค่าสูญเสียในเส้นทางระดับแนวนอกสายตา (L_r (หลังมุมเลี้ยว)) ในเส้นทาง P2 และ P3 จะมีค่าเท่ากัน เส้นทาง P4 และ P5 จะมีค่าเท่ากันเนื่องจากมีระยะทาง d_1 ความกว้างของถนนในระดับแนวสายตา (W_1) และระดับแนวนอกสายตา (W_2) เท่ากัน ทำให้เส้นทางของคลื่นที่สะท้อนในระดับแนวสายตา และระดับแนวนอกสายตา มีลักษณะเหมือนกัน ดังนั้นค่าตัวแปรต่างๆ จึงมีค่าเท่ากันด้วย ค่าสูญเสียในระดับแนวนอกสายตา ของเส้นทาง P4 และ P5 ยังจะมีค่าสูงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นทางอื่น นั้นเป็นเพราะว่าทั้งสองเส้นทางนี้มีค่าความกว้างของถนนในระดับแนวนอกสายตาคว้างที่สุด ทำให้เส้นทางคลื่นที่สะท้อนระหว่างตัวอาคารสองข้างถนนเดินทางด้วยระยะทางที่ไกล ซึ่งจะส่งผลให้ค่าการสูญเสียเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับเส้นทาง P2 และ P3 นั้น

ค่าการลดทอนจากมุมอาคาร A ในตารางที่ 4.2 จะเป็นผลต่างระหว่าง L_r (หลังมุมเลี้ยว) กับ L_r (ก่อนมุมเลี้ยว) โดยที่ค่าสูญเสีย L_r (ก่อนมุมเลี้ยว) จะคำนวณที่ตำแหน่งของเส้นทางของคลื่น 2 เส้นทางรวมกันก่อนมุมเลี้ยวของอาคาร (จุด Q ตามตัวอย่างรูปที่ 4.3) ของแต่ละเส้นทาง ดังนั้นค่าของ A จะมีค่าเป็นเช่นไรจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของผลต่างในแต่ละเส้นทาง ซึ่งในเส้นทาง P2 จะมีค่าสูงที่สุดเนื่องมาจากผลต่างมีค่ามาก

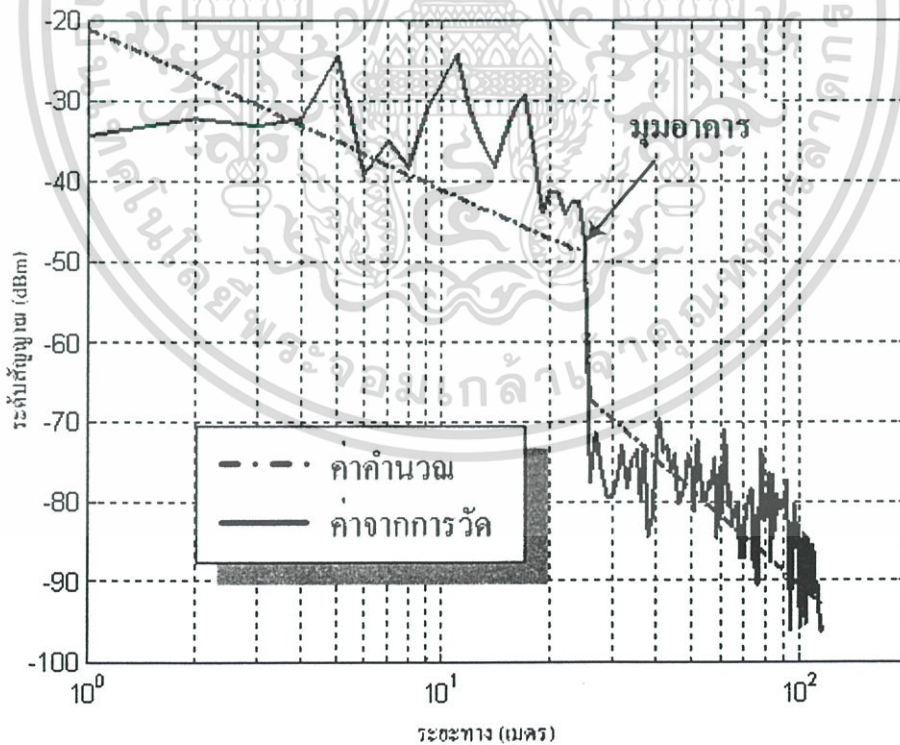
นำค่า A ที่ได้จากตารางที่ 4.2 มาคำนวณหาค่า L_o ตามสมการที่ (4.9) โดยใช้ค่าสโลป $B = 4 [17]$ เพื่อพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงในเส้นทางระดับแนวนอกสายตา

เส้นทางทดสอบ CS2 จะแสดงในรูปที่ 4.12 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) กรณีเส้นทางระดับแนวสายตา (d_1) นั้น จะใช้ค่า $d_o = 100$ เมตร เพิ่มค่า d ครั้งละ 1 เมตร ตามระยะทางระดับแนวสายตาของแต่ละเส้นทาง และใช้ค่าความถี่ 1917.35 MHz

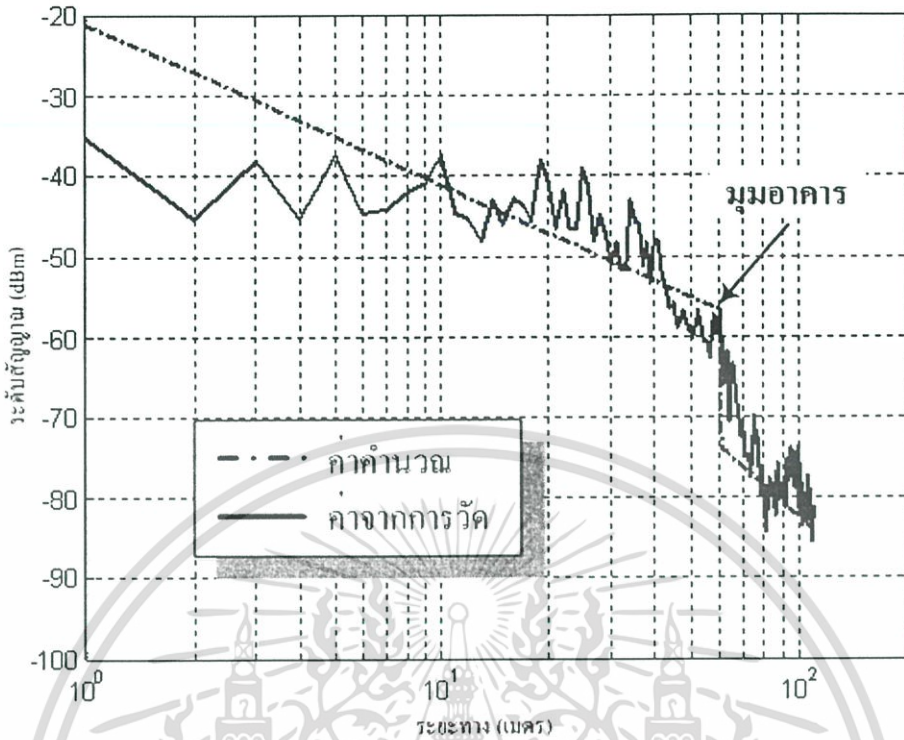


รูปที่ 4.8 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P2

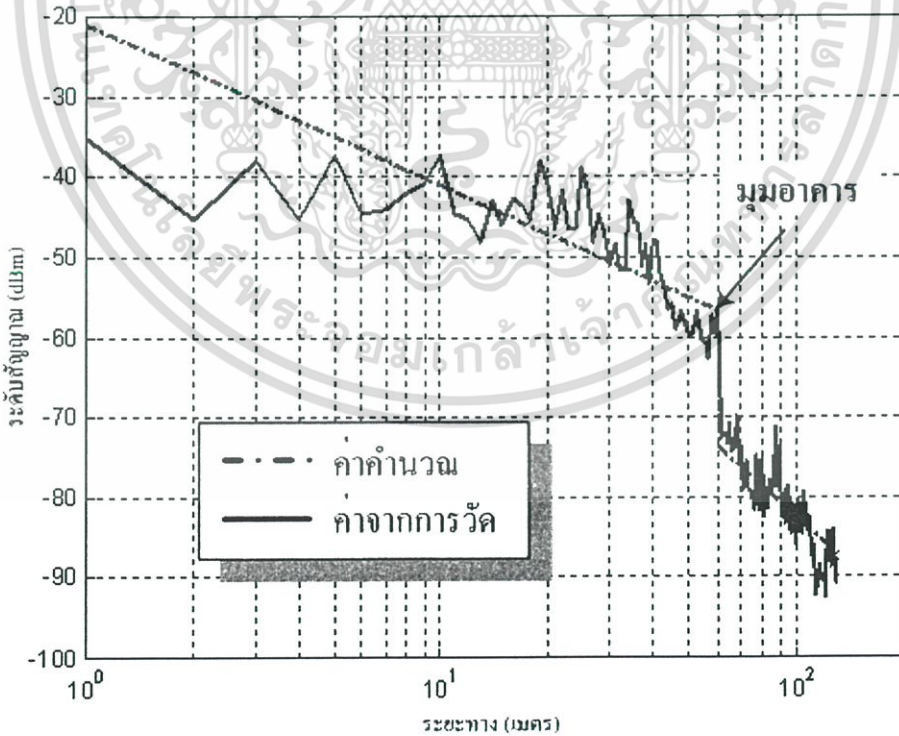


รูปที่ 4.9 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P4

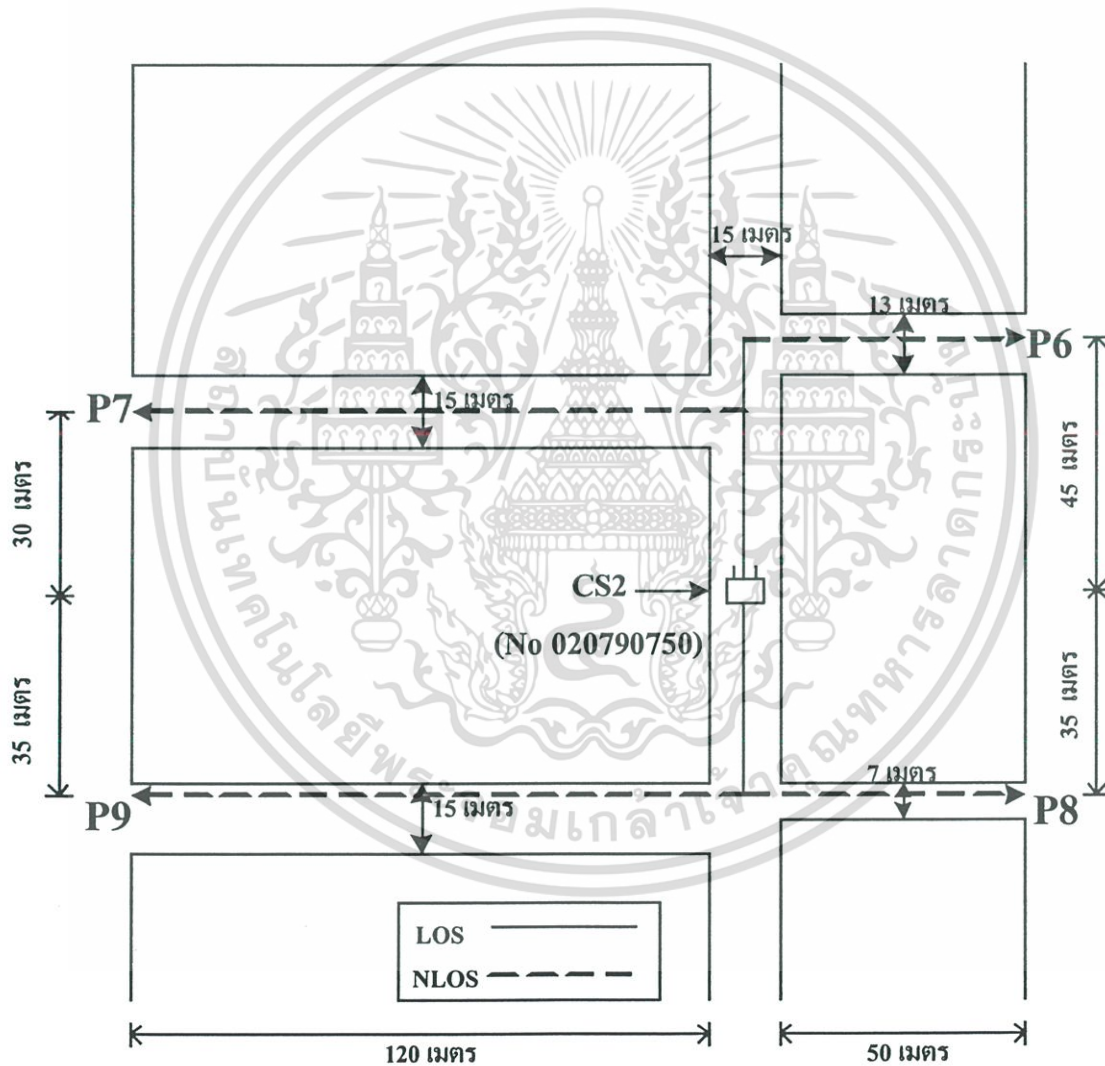


รูปที่ 4.11 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณในสมการที่ (4.5)-(4.8) กรณีเส้นทางระดับแนวอนกสายตา (d_2) นั้น จะใช้ค่า $\epsilon_r = 3$ [20], ค่า $\sigma = 100$ (สำหรับอาคาร $\sigma \gg 1$) [21] ความถี่ที่ใช้ที่ 1917.350 MHz และค่าตัวแปรต่างๆ ตามตารางที่ 4.3 ซึ่งได้มาจากการสร้างแบบจำลองในกระดาศยกราฟโดยจะได้เส้นทางของคลื่นที่เดินทางตามเส้นทางในรูปที่ 4.12 จำนวน 2 เส้นทาง (Ray No.1,2)

จากตารางที่ 4.4 ค่าการสูญเสียในระดับแนวอนกสายตา (L_r (หลังมุมเลี้ยว)) แต่ละเส้นทางของ CS2 เส้นทาง P9 จะมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากขนาดของถนนที่เป็นระดับแนวอนกสายตากว้างที่สุด ทำให้เส้นทางของคลื่นที่เดินทางสะท้อนกับตัวอาคารมีระยะทางยาว แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นทาง P7 ที่มีขนาดความกว้างของถนนที่เป็นระดับแนวอนกสายตาเท่ากัน จะเห็นได้ว่าค่า L_r (หลังมุม



รูปที่ 4.12 เส้นทางในการทดสอบ CS2

ตารางที่ 4.3 ค่าตัวแปรที่ใช้สำหรับคำนวณค่าการสูญเสียในระดับแนวนอกสายตาของ CS2

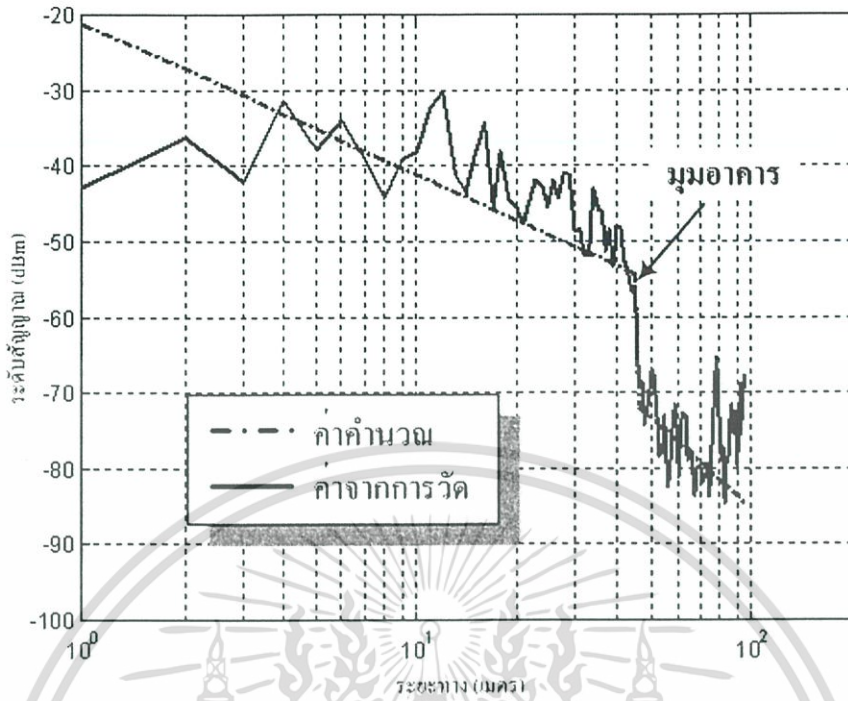
Ray No.	เส้นทาง P6		เส้นทาง P7		เส้นทาง P8		เส้นทาง P9	
	I	2	I	2	I	2	I	2
γ	0°	25°	0°	30°	0°	30°	0°	25°
δ	80°	63°	79°	60°	80°	59°	79°	64°
N	0	1	0	1	0	1	0	1
M	21	7	16	6	34	11	20	9
D	332 m	157 m	284 m	145 m	274 m	133 m	346 m	185 m
φ_i	1	0.0166	1	0.0445	1	0.05	1	0.0445

ตารางที่ 4.4 ค่าลดทอนจากมุมอาคารที่คำนวณได้แต่ละเส้นทางทดสอบของ CS2

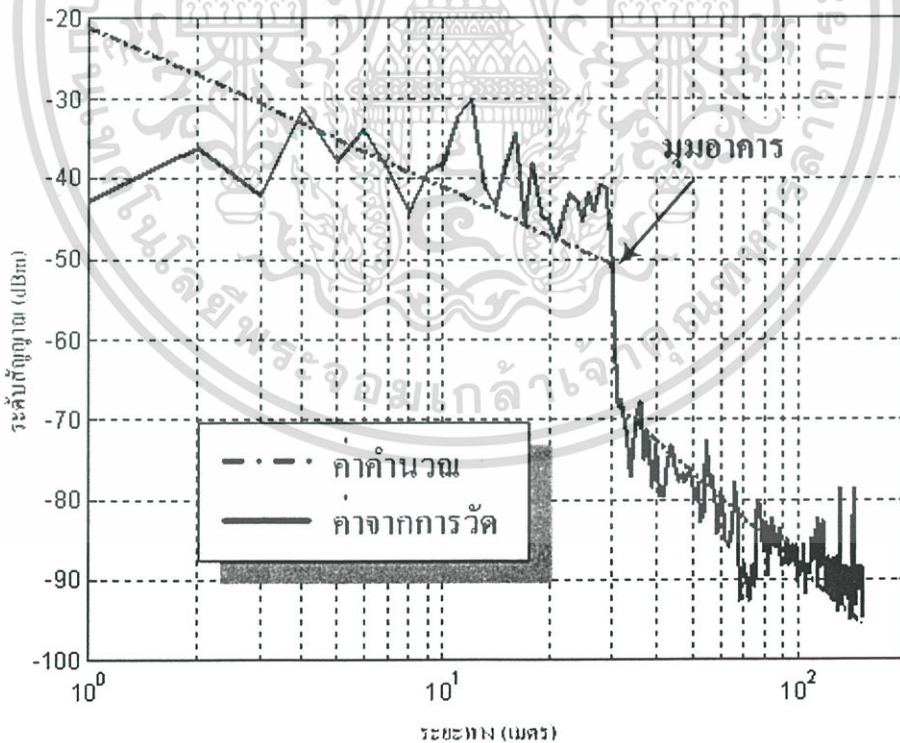
เส้นทาง	L_r (หลังมุมเดียว)	L_r (ก่อนมุมเดียว)	A
P6	28.5718 dB	11.288 dB	17.2838 dB
P7	26.7408 dB	9.775 dB	16.9658 dB
P8	26.5551 dB	9.5336 dB	17.0215 dB
P9	28.584 dB	11.185 dB	17.4 dB

เดียว) ของ P7 จะต่ำกว่า เนื่องจากระยะทางการเดินทางของคลื่นในระดับแนวนอกสายตาจะสั้นกว่าในเส้นทาง P9 ทำให้การสะท้อนของคลื่นในระดับแนวนอกสายตา (ค่า M) มีจำนวนครั้งน้อยกว่า ดังนั้นระยะทางการเดินทางของคลื่นทั้งเส้นทาง (ค่า D) ของเส้นทาง P7 จะสั้นกว่าเส้นทาง P9 ส่งผลให้ค่า L_r (หลังมุมเดียว) ของเส้นทาง P7 จึงต่ำกว่าเส้นทาง P9 ในกรณีของเส้นทาง P8 และ P9 ที่มีระยะทาง d_i เท่ากันแต่ค่า L_r (หลังมุมเดียว) ของเส้นทาง P9 มีค่าสูงกว่าเส้นทาง P8 เนื่องจากถนนที่เป็นระดับแนวนอกสายตาของเส้นทาง P9 กว้างกว่าเส้นทาง P8 การเดินทางของคลื่นที่สะท้อนกับตัวอาคารในระดับแนวนอกสายตาของเส้นทาง P9 มีระยะทางไกลกว่าเส้นทาง P8 ส่งผลให้ค่า L_r (หลังมุมเดียว) ของเส้นทาง P9 จึงสูงกว่าเส้นทาง P8

นำค่า A ที่ได้จากตารางที่ 4.4 มาคำนวณหาค่า L_o ตามสมการที่ (4.9) โดยใช้ค่าสโลป $B = 4$ [17] เพื่อพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจริงในเส้นทางระดับแนวนอกสายตา

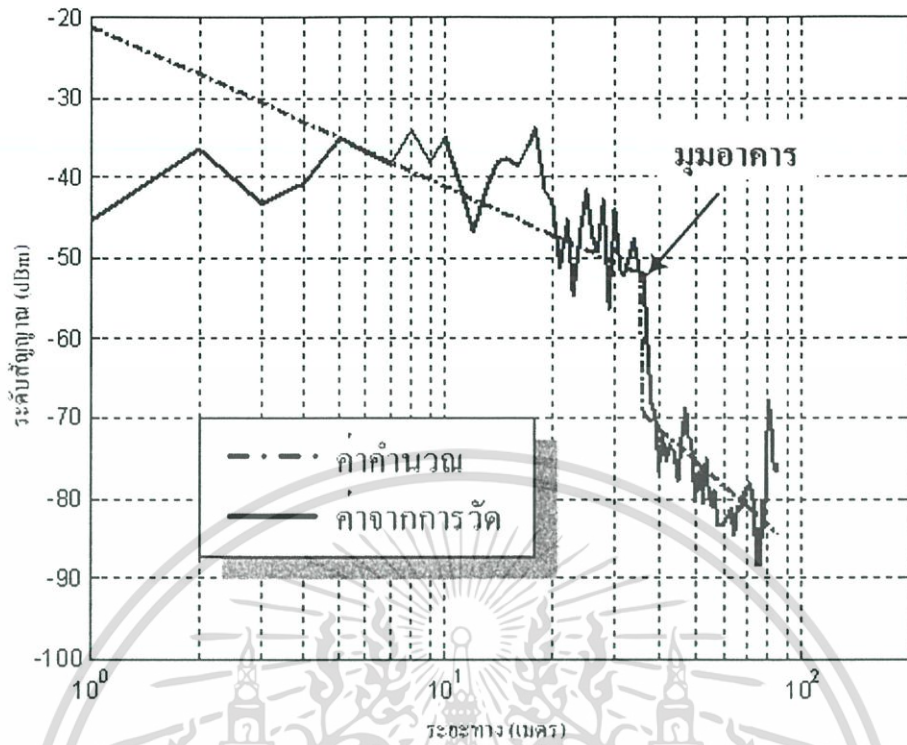


รูปที่ 4.13 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P6

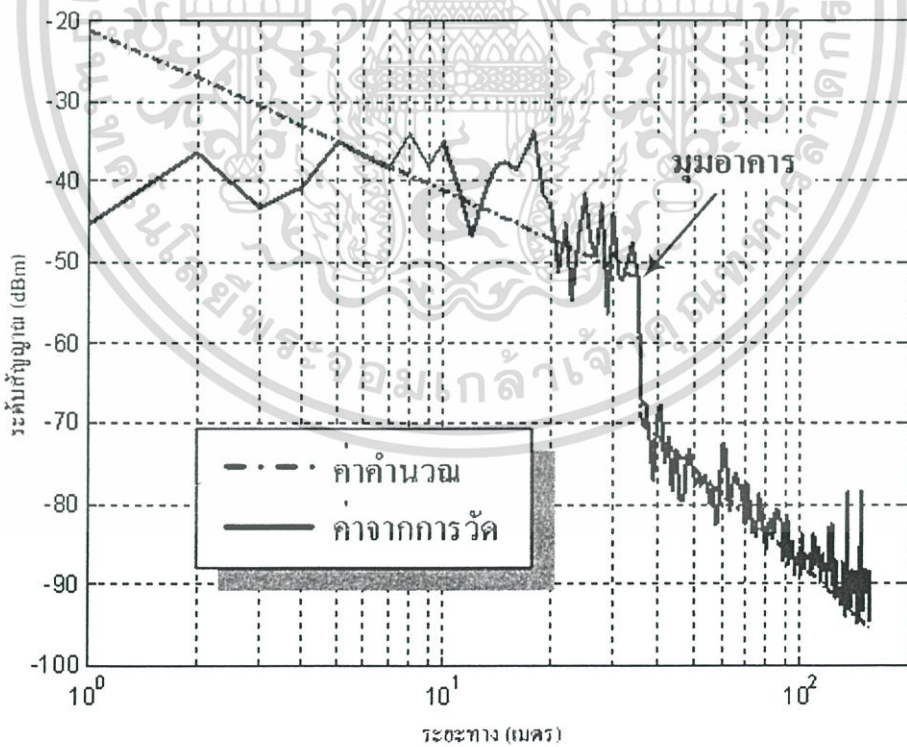


รูปที่ 4.14 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P8



รูปที่ 4.16 ระดับสัญญาณที่วัดจริงกับที่คำนวณได้จากสมการที่ (4.2) และ (4.9) ในเส้นทาง P9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 ถึงรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.16 จะเห็นว่าหลังจากมุมเงี้ยวของอาคารระดับของสัญญาณที่รับได้จะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการบังของตัวอาคาร และในเส้นทางระดับแนวอกสายตานั้นเส้นกราฟจะมีความชันมากกว่าในเส้นทางระดับแนวสายตา เนื่องมาจากเส้นทางของคลื่นสะท้อนกับตัวอาคารทำให้ระยะทางในการเดินทางเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ค่าการลดทอนสูงขึ้นด้วย และจากข้อมูลทั้งสองช่วงเวลาของทุกเส้นทาง ระดับสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ หรือเกิดการเฟดดิ้ง ตลอดเส้นทาง

จากรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าจุดของสถานีเซลล์ที่ใช้พิจารณาจะอยู่บริเวณกึ่งกลางถนนเหตุผลเพราะว่าจะได้สร้างแบบจำลองเส้นทางของคลื่นได้ง่าย ซึ่งในความเป็นจริงการติดตั้งสถานีเซลล์จะติดตั้งบริเวณริมถนน แต่การเลื่อนจุดของสถานีเซลล์จากกึ่งกลางถนนเข้ามาริมถนนนั้นมุมเส้นทางของคลื่นที่ตกกระทบกับอาคารในระดับแนวอกสายตาจะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก และในการเปลี่ยนความสูงของ สถานีเซลล์จะมีผลเฉพาะกับเส้นทางระดับแนวสายตา แต่ในเส้นทางระดับแนวอกสายตานั้นมุมตกกระทบและระยะทางเส้นทางของคลื่นก็จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเช่นกัน ทำให้ไม่ส่งผลกับค่าลดทอนจากมุมตึก [19]



บทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ระบบโทรศัพทพื้นฐานพหุภาคส่วนบุคคลพีซีที่เป็นระบบโทรศัพทไร้สายชนิดหนึ่งพัฒนา มาจากระบบ PHS ของประเทศญี่ปุ่น โดยสถานีเซลล์ของโทรศัพท พื้นฐานพหุภาคพีซีที จะเป็น สถานีเซลล์ขนาดเล็กหรือที่เรียกว่าไมโครเซลล์ การติดตั้งสถานีเซลล์ที่อยู่ติดกัน จะติดตั้งให้พื้นที่ ครอบคลุมมีการเหลื่อมล้ำกันเพื่อให้มีการใช้งานเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง โดยระดับของสัญญาณที่ เครื่องลูกข่ายจะทำการการข้ามเซลล์เราเรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์เอาต์ (Handover out) จะอยู่ที่ประมาณ 25 dB μ V ระดับของสัญญาณสถานีเซลล์ตัวใหม่ที่จะรองรับการข้ามเซลล์ได้เรา เรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์อิน (Handover in) จะอยู่ที่ประมาณ 30 dB μ V เนื่องจากการติด ตั้งสถานีเซลล์ของโทรศัพทระบบพีซีทีนั้น ส่วนใหญ่จะติดตั้งบริเวณเสาไฟฟ้าข้างถนนซึ่งมีระดับ ต่ำกว่าความสูงของอาคาร โดยรอบ โดยมากสิ่งแวดลอมในพื้นที่เขตเมืองนั้นจะมีตัวอาคารอยู่สอง ข้างถนน ดังนั้นเส้นทางแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์นั้นจะมีทั้งเส้นทางระดับแนวสายตา และเส้นทางระดับแนวอกสายตา ซึ่งการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวอกสายตาจะเกิด การสะท้อนของคลื่นกับสิ่งแวดลอมบริเวณข้างถนนในเส้นทางระดับแนวสายตา แล้วเลี้ยวเบนเข้า ไปยังเส้นทางระดับแนวอกสายตา

การเดินทางของคลื่นในเส้นทางระดับแนวอกสายตานี้ จะมีการสะท้อนไปมาระหว่างว ตัวอาคารบริเวณสองข้างถนนเช่นเดียวกัน ทำให้ระยะทางของการเดินทางเพิ่มมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่ง ผลให้ค่าการสูญเสียเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และการที่เส้นทางของคลื่นที่เดินทางในระดับแนวอก สายตามารวมกันที่ตำแหน่งต่างๆ ในเส้นทาง เฟสของคลื่นเหล่านั้นจะมีทั้งที่เป็นเฟสเดียวกันและ ต่างเฟสกันซึ่งจะทำให้เกิดการเสริมหรือหักล้างกัน ทำให้ระดับสัญญาณที่รับได้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า การเฟดดิ้งหรือการจางหายของสัญญาณ ดังนั้นการพิจารณาจุดติดตั้งสถานีเซลล์ของ โทรศัพทพื้นฐานพหุภาคพีซีทีควรจะคำนึงถึงรูปแบบของถนนและสิ่งแวดลอมในพื้นที่ ซึ่งจะส่งผล ให้คาดทอนจากมุมอาคารมีค่าที่แตกต่างกัน ทำให้พื้นที่ครอบคลุมของสถานีเซลล์แต่ละตัวแตก ต่างกันด้วย

5.1 สรุปรูปแบบของถนนที่ส่งผลกับค่าสูญเสียในเส้นทางระดับแนวอกสายตา

การทดสอบการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวอกสายตาในงานวิจัยนี้ จะทำการ ทดสอบสถานีเซลล์ของโทรศัพทพื้นฐานพหุภาคพีซีทีขนาด 20 mW จำนวน 2 ตัว ในบริเวณถนน พญาไท ซึ่งมีลักษณะของตัวอาคารที่มีความสูงเฉลี่ยที่เท่ากัน และมีรูปแบบความกว้างของซอยที่ เป็นระดับแนวอกสายตาแตกต่างกัน การเก็บข้อมูลระดับสัญญาณของแต่ละเส้นทางจะเก็บข้อมูล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับสัญญาณที่เครื่องมือสามารถรับได้ครั้งละ 1 เมตร คือ 50 ข้อมุล จากนั้นจึงนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับค่าระดับสัญญาณที่ได้จากการคำนวณ โดยจะทดสอบการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวอกสายตาของสถานีเซลล์ตัวที่ 1 (CS1) จำนวน 5 เส้นทาง สถานีเซลล์ตัวที่ 2 (CS2) จำนวน 4 เส้นทาง

การคำนวณค่าการสูญเสียการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทางระดับแนวอกสายตาจะใช้สมการ Log Distance Path Loss และกรณีของเส้นทางระดับแนวอกสายตาจะทำการสร้างโมเดลตำแหน่งของตัวอาคารที่จำลองแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยม และรูปแบบของถนนให้ใกล้เคียงกับพื้นที่จริง เพื่อหาเส้นทางการเดินทางของคลื่น ซึ่งจะทำให้ทราบค่าตัวแปรต่างๆ ในการคำนวณค่าสูญเสียในเส้นทางระดับแนวอกสายตา โดยค่าลดทอนที่เกิดจากมุมบังของอาคารก็จะหาได้จากผลต่างระหว่างค่าสูญเสียในเส้นทางระดับแนวอกสายตากับค่าการสูญเสีย ณ ตำแหน่งที่เส้นทางของคลื่นรวมกันก่อนมุมเงี้ยวของอาคารแต่ละเส้นทาง จากการคำนวณที่ได้สามารถสรุปรูปแบบของถนนที่ส่งผลกับค่าสูญเสียในเส้นทางระดับแนวอกสายตาได้ดังนี้

1. กรณีที่ความกว้างของถนนที่เป็นระดับแนวอกสายตาเท่ากัน แต่มีระยะทางจากสถานีเซลล์ถึงมุมเงี้ยวของอาคารไม่เท่ากัน ค่าสูญเสียในเส้นทางระดับแนวอกสายตาที่มีระยะทางไกลกว่าจะมีค่าที่สูงกว่า เนื่องจากเส้นทางของคลื่นที่สะท้อนกับตัวอาคารในเส้นทางระดับแนวอกสายตามีมุม θ ที่กว้างกว่า ส่งผลให้จำนวนครั้งในการสะท้อนมาก เมื่อรวมกับสัญญาณที่เดินทางในระดับแนวอกสายตาของ D จึงมากขึ้น ทำให้เกิดค่าสูญเสียสูงขึ้นตามไปด้วย
2. กรณีที่ความกว้างของถนนที่เป็นระดับแนวอกสายตาต่างกัน แต่มีระยะทางจากสถานีเซลล์ถึงมุมเงี้ยวของอาคารเท่ากัน ค่าสูญเสียในเส้นทางระดับแนวอกสายตาที่มีความกว้างของถนนที่เป็นระดับแนวอกสายตามากกว่าจะมีค่าที่สูงกว่า
3. กรณีที่ความกว้างของถนนที่เป็นระดับแนวอกสายตาและระยะทางจากสถานีเซลล์ถึงมุมเงี้ยวอาคารเท่ากัน ค่าสูญเสียในเส้นทางระดับแนวอกสายตาจะมีค่าเท่ากัน เนื่องจากเส้นทางของคลื่นที่สะท้อนในระดับแนวอกสายตา และระดับแนวอกสายตามีลักษณะเหมือนกัน

5.2 สรุปผลที่ได้จากการคำนวณและที่วัดได้จริง

จากค่าลดทอนที่เกิดจากมุมบังของอาคารแต่ละเส้นทางที่แสดงในตารางที่ 4.2 และ 4.4 จะมีค่าที่แตกต่างกัน เนื่องจากจะได้มาจากผลต่างระหว่างค่าสูญเสียในเส้นทางระดับแนวอกสายตากับค่าการสูญเสียที่ตำแหน่งก่อนมุมเงี้ยวของอาคารแต่ละเส้นทาง ซึ่งแต่ละเส้นทางก็มีค่าสูญเสียในเส้นทางระดับแนวอกสายตาและค่าการสูญเสีย ณ ตำแหน่งที่เส้นทางของคลื่นรวมกันก่อนมุมเงี้ยวของอาคาร ที่แตกต่างกันตามรูปแบบของถนน

จากการวัดสัญญาณที่สถานีเซลล์ที่ 1 (CS1) ระดับสัญญาณที่วัดได้บริเวณใกล้กับสถานีเซลล์ในเส้นทางระดับแนวอกสายตา จะมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณ เนื่องจากการคำนวณจะคิดค่าจากสายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศ แต่ในความเป็นจริงการวัดสัญญาณจะอยู่ต่ำกว่าจุดติดตั้งสถานีเซลล์ ไม่สามารถวัดได้จากระดับสายอากาศ ทั้งนี้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบรอบทิศทางจะมีมุมในการแพร่กระจายคลื่น ระยะทางที่ไกลกับสายอากาศที่ไม่อยู่ในรัศมีในการแพร่กระจายคลื่นจะมีกำลังงานต่ำ แต่เมื่อระยะทางไกลออกไปค่าที่วัดได้กับค่าที่คำนวณจะใกล้เคียงกัน

ระดับของสัญญาณที่วัดได้จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณของผู้ใช้จะไม่ส่งผลกับการแพร่กระจายคลื่นในพื้นที่ เนื่องมาจากการเฟดดิ้งของสัญญาณในพื้นที่เขตเมืองที่มีตัวอาคารตั้งอยู่เป็นจำนวนมาก จะเป็นการเฟดดิ้งแบบ เรย์ลิกซ์ (Rayleigh fading) หรือการจางหายหลายเส้นทาง (multipath fading) [22] โดยเกิดจากคลื่นวิทยุที่เครื่องโทรศัพท์ที่ซีทีรับได้ที่มาจากทุกทิศทาง

ค่าที่คำนวณได้สามารถใช้พิจารณาการรองรับการใช้งานของสถานีเซลล์ได้ คือถ้าเครื่องโทรศัพท์ที่ซีทีจะทำการข้ามไปใช้สถานีเซลล์ตัวใหม่หรือแฮนด์โอเวอร์เอาต์ เมื่อระดับสัญญาณของสถานีเซลล์ที่เครื่องโทรศัพท์รับได้ต่ำกว่า $25 \text{ dB}\mu\text{V}$ หรือประมาณ -82 dBm และสถานีเซลล์จะสามารถรองรับการข้ามเซลล์หรือแฮนด์โอเวอร์อินได้ เมื่อระดับสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์รับได้สูงกว่า $30 \text{ dB}\mu\text{V}$ หรือประมาณ -77 dBm

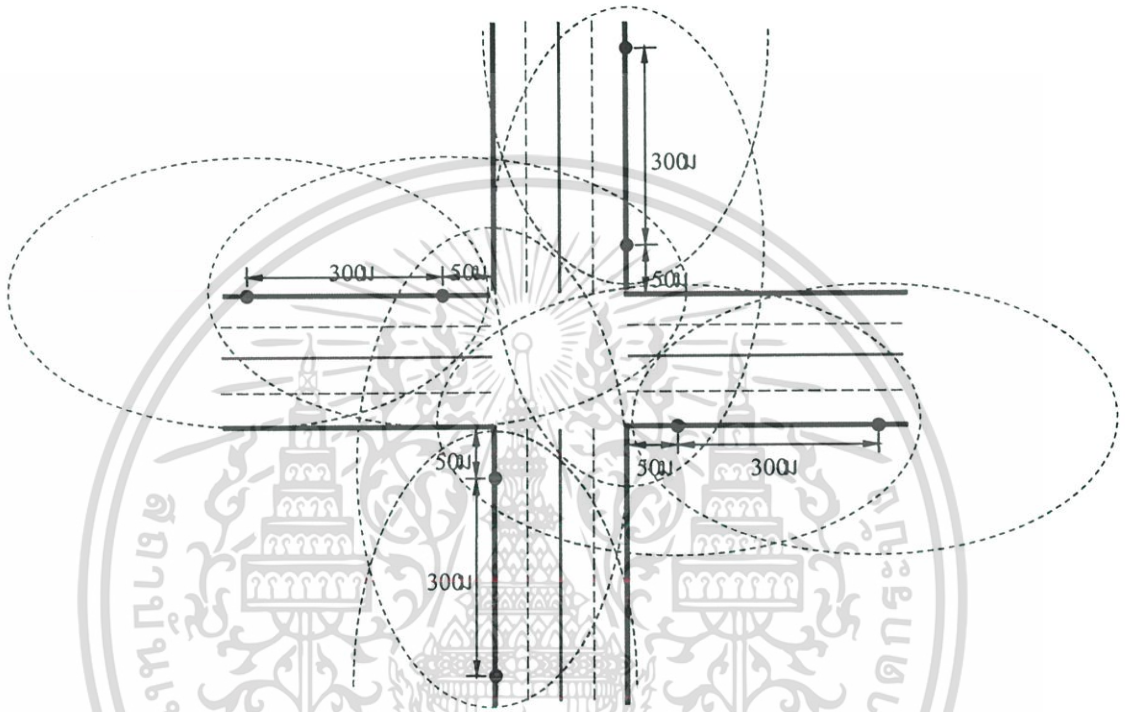
5.3 ปัญหาที่เกิดขึ้นและขอเสนอแนะ

ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานวิจัยนี้ คือการวัดระดับกำลังงานนั้นจะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากบริเวณที่ทำการวัดมีปริมาณของตัวอาคารในพื้นที่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงต้องมีการเก็บข้อมูลระดับของสัญญาณในแต่ละจุดหลายๆ ค่าและนำมาหาค่าเฉลี่ย การวัดค่าที่ระยะต่างๆ อาจจะไม่ถูกต้องตามระยะทางจริงในพื้นที่ เนื่องจากไม่ได้ใช้เครื่องมือวัดระยะทางในการวัดระยะในการเก็บข้อมูลแต่ละจุด แต่ใช้การประมาณเพื่อความสะดวกในการเก็บข้อมูล ซึ่งอาจจะทำให้ค่าที่วัดได้จริงกับค่าที่คำนวณได้บางจุดมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ดังนั้นเพื่อความถูกต้องในการออกแบบติดตั้งจริงควรใช้เครื่องมือวัดระยะทางช่วย

ปัญหาที่เกิดขึ้นอีกประการคือ การสร้างแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นที่อาจจะคลาดเคลื่อนกับพื้นที่จริง ซึ่งจะทำให้ค่าตัวแปร และการคำนวณที่ได้เกิดความผิดพลาด ดังนั้นควรมีการวัดขนาดถนนให้แน่นอนก่อนนำมาสร้างแบบจำลอง รวมถึงมีการวัดมุมประกอบด้วย

5.4 ข้อเสนอแนะในการวางตำแหน่งเซลล์สำหรับบริเวณสี่แยก

การวางเซลล์ในบริเวณสี่แยกต่างๆ ควรวางสถานีเซลล์ขนาดเดียวกับสถานีเซลล์ในถนนเส้นนั้นๆ คือ ทำการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ หรือ 20 มิลลิวัตต์ อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงขนาดเดียว ในบริเวณสี่แยกควรลดระยะห่างระหว่างสถานีเซลล์ลง ตัวอย่างในพื้นที่ชานเมืองให้ทำการวางเซลล์ใกล้ๆ สี่แยกประมาณ 50 เมตร ทั้ง 4 ด้าน ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างการวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ บริเวณสี่แยกในเขตพื้นที่ชานเมือง

บรรณานุกรม

- [1] P. Moungnoul, M. Sukkasem, and T. Paungma “Personal Communication Telephone new system for digital wireless communication in Thailand” IEICE Trans. on Electronic. Vol.E82-C, No.7.,July.1999., pp.1280-1286.
- [2] T. Kurner, D.J. Cichon, and W. Wiesbeck, “Concepts and Results for 3D Digital Terrain-Based Wave Propagation Models,” IEEE JSAC, Vol.11, no.7, Sept.1993, pp. 1002-1012.
- [3] W.C.Y. Lee, **Mobile Cellular Telecommunication System**. McGraw Hill Inc. 1989.
- [4] P. Moungnoul, P. Tangtisanon, and T. Paungma “PCT - The New Service of Digital Wireless Communication in Thailand” Proc. 16th(1998) International Telecommunication Symposium(ITS’98), Taipei, Taiwan, R.O.C., Vol.II, September 1998., pp.51-55.
- [5] P. Moungnoul, N. Namuang, M. Sukkasem, and T. Paungma “The computation and experiment results for cell coverage region for a PCT system” Proc. 16th(1998) International Telecommunication Symposium(ITS’98), Taipei, Taiwan, R.O.C, Vol.II., September, 1998., pp.57-62.
- [6] P. Moungnoul, P. Tangtisanon, and T. Paungma “Cell Station Design for Personal Communication Telephone” Proc. The 6th IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing and Communication Systems(ISPACS’98), Melbourne, Australia, Vol.2., November1998., pp.645-649.
- [7] Telecom training Department-TT&D, “PCT Network Introduction,” Version 3, November 26, 1997.
- [8] Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT) **Personal Handy-phone and the VI&P Concept**. 1995.
- [9] NEC Corporation, “PHS Cell Station Instruction Manual”, 1st Edition, December 1996.
- [10] H. J. Helgert **Integrated Services Digital Network** : Addison-Wesley. 1991
- [11] CCITT. **Recommendation I series** Geneva : ITU. 1989
- [12] CCITT **Recommendation Q.700 series** Geneva : ITU 1989
- [13] Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) **Personal Handy- Phone System ARIB Standard**. Version 3.2, February. 1999.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] S. Sampei **Application of digital wireless technologies to global wireless communications** : Prentice Hall. 1997.
- [15] ITU-T **Recommendation G726, 40, 32, 16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)** 1990
- [16] Ministry of Posts & Telecommunications (MPT), Japan **Personal Handy-phone System Guidebook**. 1995.
- [17] J. B. Andersen, T. S. Rappaport, and S. Yoshida “Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels.” *IEEE Communication Magazine*, Vol. 33, January 1995. pp. 44-46.
- [18] B. Sklar “Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication System Part I: Characterization.” *IEEE Communication Magazine*, Vol. 35, July 1997. pp. 90-93.
- [19] 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.
- [20] 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, August 1998. pp. 1025
- [21] W.C.Y. Lee, **Mobile Communications Engineering**. McGraw Hill Inc. 1982.
- [22] ถวิล พึ่งมา. **ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541

ผลงานที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์

P. Moungnoul, P. Anunvarapong, T. Paungma, "Propagation Loss in PCT System by Building Corner Effect." ECTI-CON 2005, Pattaya, Thailand, 12-13 May 2005.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Propagation Loss in PCT System by Building Corner Effect

Phichet Moungnoul, Pramote Anunvarapong, Tawil Paungma

Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalokkrung Road, Bangkok 10520, THAILAND
Phone: +66-2-3264242 Fax: +66-2-3264554 E-mail: phichet@telecom.kmitl.ac.th

ABSTRACT

This paper presents the propagation effect of building corner in Non-Line-of-Sight path of PCT system by using the model to consider the 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.

Keywords: PCT, PHS, Building Corner Effect

1. INTRODUCTION

By integrating three networks, namely, Public Switched Telephone Network (PSTN), Personal Handy-Phone System (PHS) as a Personal Communication Telephone (PCT) service to be offered in the Bangkok metropolis area. The PCT service was developed from Japanese technology to adapt for using in Thailand. It enables one number service (ONS).

Cell stations in PCT System are microcells, which can be categorized by the purpose of usage into 2 types: public mode cell station with the power of 20 mW and 200 mW and private mode cell station with the power of 10 mW. The coverage area of public mode cell station has a radius varies from 50 to 300 metres depend on the power of the cell station [1]. So, the signal are both propagated along the line-of-sight (LOS) path and reflected with the building into the non-line-of-sight (NLOS) path. For the wave propagation from the cell station to the receiver placed in the NLOS area, the propagation will be reflected from the building in LOS area. Especially, when the receiver is placed between 2 buildings, it may have many reflections in the propagation path to the receiver which increase the distance of propagation path between the cell station and the receiver. It increases the path loss of the propagation. This paper proposes an existing theory for calculating the path loss in both LOS and NLOS paths.

2. WAVE PROPAGATION

The propagation from a cell station to a receiver can be divided into 2 cases: line-of-sight (LOS) propagation and non-line-of-sight (NLOS) propagation.

2.1. Propagation in Line-of-sight

To determine the path loss at any distance, Okumura [3] proposed a curve, which is developed from measured

the data, to predict the path loss. This curve shows the relationship between the height of the antenna and the radius of coverage area. Next, Hata[4] transforms the Okumura's data into a simple equation, so that it will be easy to use, by defining that the average path loss at distance d from the transmitter depending on the ratio of d and the reference distance d_0 with the power of n

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

Normally, it display in the unit of decibel as shown below

$$L_p(d) = L_s(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2)$$

The reference distance d_0 is the measured distance from the antenna which generally equal to 1 kilometer for macro cell, 100 meters for micro cell and 1 meter for indoor cell, n is equal to 2.

$$L_s(d_0) = 20 \log \frac{4\pi d_0}{\lambda} \quad (3)$$

In the case of LOS, the path loss $L_s(d_0)$ at reference distance can be determined from equation (3) where λ is the wavelength of operating frequency.

2.2 Propagation in Non-Line-of-Sight

The path loss in the NLOS case due to the surrounding buildings makes the LOS propagation of distance d_1 then reflect and become the NLOS propagation of distance d_2 as shown in Fig.1.

From

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

The received power from a propagation path of distance d_2 can be calculated from equation (4) where R is a factor of total reflection of the path.

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

For the electric field which is perpendicular to the incidence

$$R(\phi) = \frac{\sin(\phi) - \sqrt{\epsilon - \cos^2(\phi)}}{\sin(\phi) + \sqrt{\epsilon - \cos^2(\phi)}}, \phi = \gamma \cdot \delta \quad (6)$$

Where

$$\epsilon = \epsilon_r - j60\sigma\lambda \quad (7)$$

From equations (4)-(6) are used for only 1 propagation path. R_i, D_i where $I = 1 \dots k$ (k is the number of propagation path) will be varied by the values of N, M, γ, δ of each path.

where

- γ is the reflect angle between the incidence ray and plane of surface in LOS path
- δ is the reflect angle between the incidence ray and plane of surface in NLOS path
- N is the number of reflection in LOS path
- M is the number of reflection in NLOS path
- D is the distance of the path (m)
- P_t is the transmission power (W)
- P_r is the received power (W)
- ϵ_r is the permittivity of the reflected material
- σ is the conductance of the reflected material (siemen/metre)

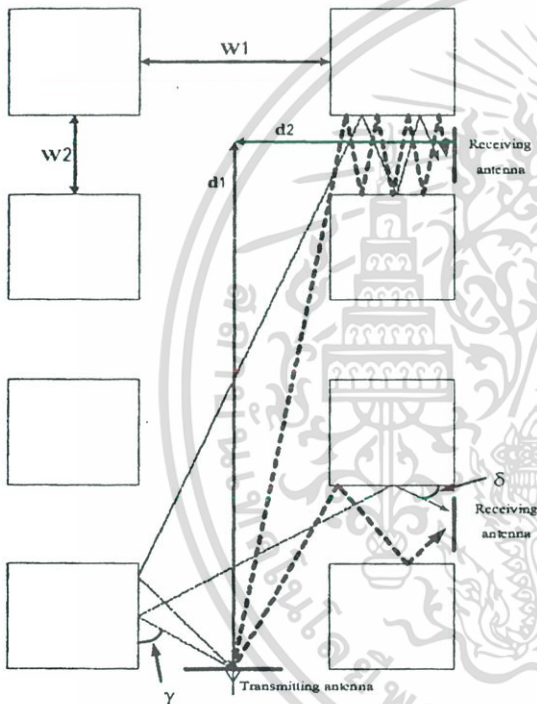


Fig. 1: Model of NLOS propagation due to the reflected ray in the path d_1

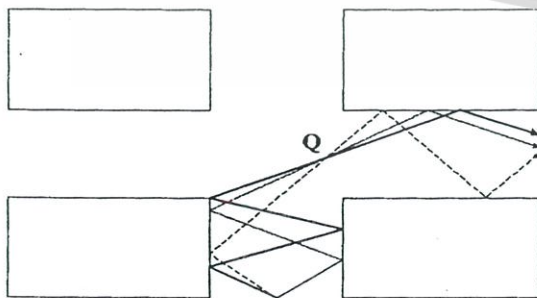


Fig. 2: Q point intersection paths

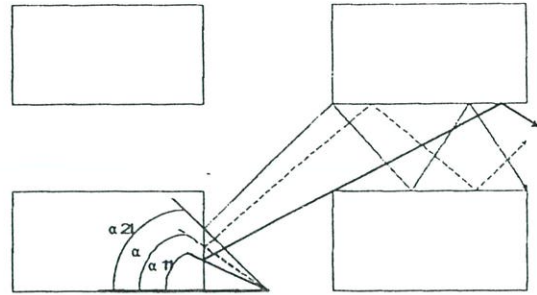


Fig. 3: Angle of reflection α_{21} and α_{11}

Simplify the model of NLOS propagation, from fig. 2, Q is the example of intersection point which the path must be passed before moving into NLOS with no more reflection. Fig. 3 shows the example of α_{21} and α_{11} which are the maximum and minimum angles for the path that enters the NLOS path by reflecting just only 1 time on path d_1 . The path with angle α is the path which passes the Q point. It means that the mentioned paths above can reach to the receiver. Distance and incidence angle of the path that pass the Q point, which is the NLOS propagation, will be estimated by a factor ϕ_i where α_{21} and α_{11} are the maximum and minimum angle of the path which pass the Q point.

$$\phi_i = \frac{\alpha_{21} - \alpha_{11}}{\pi}, i = 1, 2 \dots k \quad (8)$$

The factor ϕ_i is the ratio of number of waves that enter the NLOS path where $\phi_i \leq 1$. This factor can be use in each path which passes the Q point. Fig. 2, for the path with no reflection in LOS, ϕ_i will be equal to 1. Path loss equation L_r for the model of NLOS is

$$L_r = \left| 10 \log_{10} \left\{ \sum_{i=1}^k \left(\frac{\lambda}{4\pi D_i} \right)^2 \frac{R_i}{D_i} 2^{\phi_i} \right\} \right|, \phi_i \leq 1 \quad (9)$$

When the receiver moves along the NLOS path, the equation of average path loss can be calculated from

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

$$A = L_r - L_x \quad (11)$$

where L_F can be calculated from the free space propagation equation as

$$L_F = \left| 20 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi d_1} \right) \right| \quad (12)$$

L_o is the path loss in NLOS path

A is building's corner attenuation calculated from L_r

L_r is the path before passing the corner

L_x is the path after passing the corner

B is slope in the NLOS path

d_1 is the distance from cell station to the corner

d_2 is the distance along the NLOS path

k is the number of paths

3. EXPERIMENT AND RESULTS

The experiment of this paper is made at Siam Square where the map is shown in Fig. 4. The cell station is a transmitter with of 20 mW power, omni directional antenna and processing gain of 4 dBi. The receiver is PHS and measures the signal strength from control channel (CCH) number 75 at the frequency of 1917.35 MHz [1]. The data is collected every 1 meter along the path. The results have been plotted and compared with the result from the calculation of equation (2) in case of LOS path and equations (5) to (11) for case of NLOS path.

Path P1 is a LOS path with a distance of $d_1 = 80$ meters. Path P2, P3, P4 are NLOS path which P2 has the distance of $d_1 = 25$ metres and $d_2 = 90$ metres, P3 has the distance of $d_1 = 80$ metres and $d_2 = 60$ metres, P4 has the distance of $d_1 = 55$ metres and $d_2 = 50$ metres

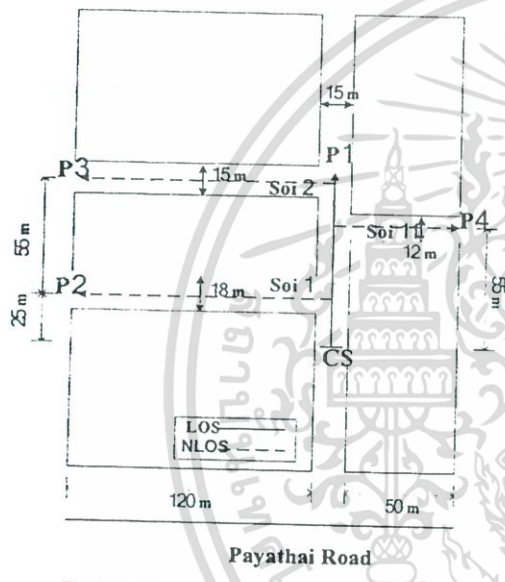


Fig. 4: Map of Siam Square

The path loss calculation in equation (2) defines d_0 equal to 100 meters and increases the value d by 1 m. until it equals the distance of each path at the frequency of 1917.35 MHz.

In the calculation of equation (5)-(8), let define $\epsilon_r = 3$ [6], $\sigma = 100$ (for the building $\sigma \gg 1$) [7] and using the frequency of 1917.35 MHz. Other variables needed for these equations are defined as shown in table 1, which is obtained from developing a model of 2 propagation paths (Ray No.1 and 2) as shown in Fig. 4.

From the results of calculation as shown in table 2, the NLOS path loss (L_r (after the corner)) of path P3 is highest because the distance d_1 of this path is highest. Then, the angle δ of reflection path from the building into the NLOS path is wider than paths P2 and P4. When the angle δ is wide, the number of reflections in the path increases (as shown in fig. 1). So, the distance of propagation path is much more higher when the distance

of NLOS path added with the distance of LOS propagation path and becomes the value of D . Finally, the value of D is high, so the path loss is high. Table 1, the M value of Ray No. 1 in path P4 is more higher than in path P3 in the situation that d_1 of Path P3 is less than d_1 in Path P4. The road in path P4 is narrow, so the number of reflection in NLOS path increases. But, when added with the distance of LOS path, the D value of P3 still higher than P4, so (L_r (after the corner)) of P3 is high than of P4. The attenuation from building

Table 1: Parameters for calculation

Ray No.	Path P2		Path P3		Path 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(m)	224	110	507	277	447	183
ϕ_r	1	0.116	1	0.016	1	0.372

Table 2: Calculation of propagation loss from building corner

Path	L_r (before corner)	L_r (after corner)	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

As shown in table 2, the attenuation in path P2 is highest, because the road in path P2 is widest, so the reflection of propagation in NLOS path of path P2 increase the value of D dramatically. Then, the difference between (L_r (after the corner)) and (L_r (before the corner)) is high. In case of P3 and P4, their roads in the LOS path have the same width. P3 has a higher distance in LOS path (d_1), but P4 has narrow road in NLOS path which increase the value of M and distance of propagation path. So, the difference between (L_r (after the corner)) and (L_r (before the corner)) of P3 and P4 are close to each other.

Next, to use the attenuation from table 2 for calculating the value of L_0 by using equation (9) with $B = 4$ [8] and plot the data to compare with the measured data which are collected from the NLOS path. Fig. 5 shows signal strength in the LOS propagation path from calculation and measured data, when compared with NLOS propagation path. Figs 6-8 show that the signal strength decreases after passing the corner due to the obstacle of the building. The slope of NLOS propagation path is higher than the slope of LOS propagation path. Because the reflection with the building increases the distance of propagation path, this affect to increase the path loss too. Fig. 4, it can be noted that the location of

the cell station in this experiment is in the middle of the road. It is easy for us to simulate the propagation path. In practical, the cell station will be located above the sidewalk. The experiment makes a little effect to the angle of incidence for NLOS propagation path. The height changement of cell station, It effects only with LOS propagation path, but the effect with NLOS propagation path is very little. So the building corner attenuation change nothing from height changement and location from middle of the road to the sidewalk.

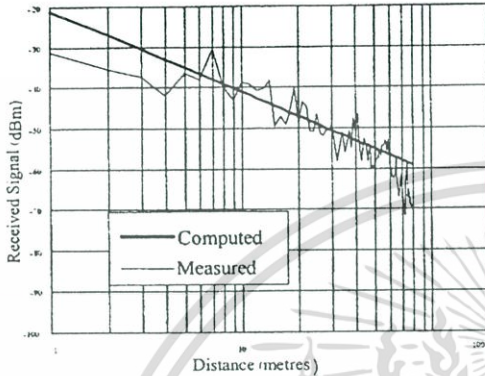


Fig. 5: Comparison between computation from (2) and experimental result in P1

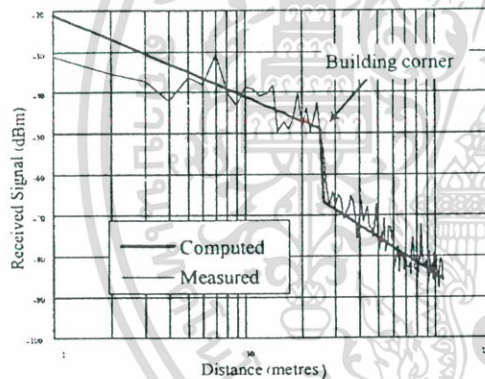


Fig. 6: Comparison between computation from (2), (9) and experimental result in P2

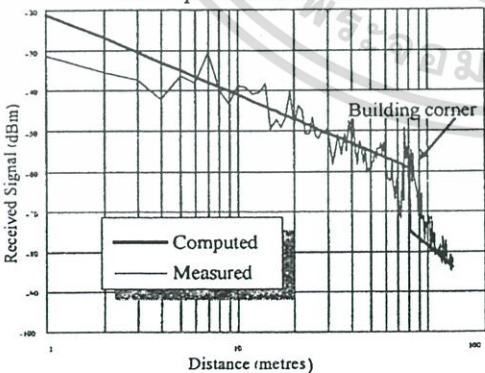


Fig. 7: Comparison between computation from (2), (9) and experimental result in P3

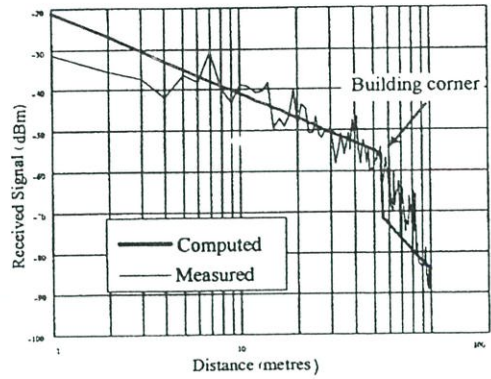


Fig. 8: Comparison between computation from (2), (9) and experimental result in P4

4. CONCLUSION

From the results of the experiment, the signal strength decreases after passing the corner of the building and the slope of NLOS is higher than LOS propagation path. It comes from the effect of reflection. From the results of calculation, the factors which seriously affect the attenuation is the width of the road. The changing in heights of cell station effect only the LOS propagation path, but it effects a little with NLOS propagation path. So, to improve the cell station, it should increase the transmission power or the processing gain.

5 REFERENCE

- [1] Telecom training Department-TT&D, *PCT Network Introduction*, Version 3, 1997.
- [2] B. Sklar, "Rayleigh fading channels in mobile digital communication system Part 1: Characterization," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 35, pp. 90-93, 1997.
- [3] T. Okumura, E. Ohmori and K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land mobile service," *Review of Electrical Com. Laboratory*, Vol. 16, No. 9-10, pp. 825-73, 1968.
- [4] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio service," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol. VT-29, 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, 1992.
- [6] N. Papadakis, A. 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, 1998.
- [7] W. C. Y. Lee, *Mobile Communications Engineering*, McGraw Hill, pp.93, 1982.

ประวัติผู้เขียน

นายปราโมทย์ อนันต์วรพงษ์ เกิดเมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2511 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปี 2534 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี 2544



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้