

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลการวัดกับโมเดลการทำนายของการแพร่กระจาย  
คลื่นสำหรับระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล พีซีที

STUDY OF COMPARISON BETWEEN MEASUREMENT RESULT AND  
PREDICTION PROPAGATION MODEL FOR PCT SYSTEM

ไพโรจน์ กัณฑ์นันท์  
PIRCGE KANTHANAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตพิเศษ

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

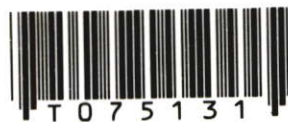
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลการวัดกับโมเดลการทำนายของการแพร่กระจาย  
คลื่นสำหรับระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล พีซีที

STUDY OF COMPARISON BETWEEN MEASUREMENT RESULT AND  
PREDICTION PROPAGATION MODEL FOR PCT SYSTEM



ไพโรจน์ กันทะนัน

PIROGE KANTHANAN

อพ.  
พ 9927  
2550

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **75131**  
วัน,เดือน,ปี..... **19 ต.ค. 2550**

b. 118 339 19  
i. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

STUDY OF COMPARISON BETWEEN MEASUREMENT RESULT AND  
PREDICTION PROPAGATION MODEL FOR PCT SYSTEM

PIROGE KANTHANAN

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

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลการวัดกับ โมเดลการทำนายของการแพร่กระจายคลื่นสำหรับระบบ โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคล พีซีที
นักศึกษา	นายไพโรจน์ กันทะนัน
รหัสประจำตัว	45061074
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2550
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ศ.ดร. ถวิล พึ่งมา

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาเกี่ยวกับการสูญเสียอันเนื่องมาจากการแพร่กระจายคลื่นของสถานี เซลล์พีซีที (PCT) ในเขตพื้นที่เมืองในย่านความถี่ 1900 MHz โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดกับ โมเดลการทำนายการแพร่กระจายที่มีอยู่แล้ว เพื่อพิจารณา โมเดลที่มีความแม่นยำในการทำนายการแพร่กระจายคลื่นของพื้นที่ครอบคลุมสถานีเซลล์ของระบบ โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีซีที ซึ่งโมเดล UTD นั้นเหมาะสมสำหรับการออกแบบติดตั้งสถานีเซลล์ เนื่องจากผลที่ได้มีค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น 3.33 % จากการเปรียบเทียบเมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้จริงในพื้นที่แยกสุทธิสารบนถนนรัชดา

<b>Thesis</b>	Study of comparison between measurement result and prediction propagation model for PCT system
<b>Student</b>	Mr.Piroge Kanthanan
<b>Student ID</b>	45061074
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Telecommunications Engineering
<b>Year</b>	2007
<b>Thesis Advisor</b>	Prof.Dr.Tawil Paungma

### **ABSTRACT**

This thesis proposes about propagation loss for PCT cell station coverage area in frequency band 1900 MHz. In order study of comparison between measurement result and existing prediction propagation model. The UTD model is appropriate for cell station installation design for our comparison propagation model. Which result error of propagation radius from cell station at Suttisarn intersection on Ruchada road equal to 3.33%.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำและช่วยเหลือมากมายจาก ศ.ดร.ถวิล พึ่งมา และผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล ตลอดจน ข้าพเจ้าผู้ศึกษาซึ่งในความอนุเคราะห์และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่านเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ชาย ที่ให้โอกาส กำลังใจ และสนับสนุนให้ข้าพเจ้าได้เล่าเรียนมาจนถึงระดับมหาบัณฑิต

ขอขอบคุณ คุณสุดาพันธ์ มั่นเข้มทอง ผู้อำนวยการกองอาคารสถานที่ ที่ให้โอกาสทั้งในการเรียนและการทำงาน เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และเจ้าหน้าที่ทุกๆ คนในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยช่วยเหลือให้คำแนะนำต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สำหรับความรู้ ประโยชน์ และคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับครอบครัว กันทะนัน ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนคุณครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ไพโรจน์ กันทะนัน

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
รายการคำย่อ.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นของโทรศัพท์ระบบไร้สาย.....	7
2.1 วิวัฒนาการของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย.....	8
2.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก.....	9
2.3 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัล.....	10
2.3.1 ระบบ CT2.....	11
2.3.2 ระบบ DECT.....	13
2.3.3 ระบบ PACS.....	15
2.3.4 ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส.....	17
2.3.4.1 การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสโดยทั่วไป.....	18
2.3.4.2 การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะการสื่อสารเคลื่อนที่.....	19
2.3.4.3 การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะ WWL.....	23
2.3.4.4 การประยุกต์ใช้งานภายในตัวอาคาร.....	25
2.4 การเปรียบเทียบระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลดิจิทัล.....	26

2.5 ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	29
--	----

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	29
2.5.1.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ	29
2.5.1.2 โครงข่ายอัจฉริยะ	30
2.2.1.3 โครงข่ายโทรศัพท์ PHS	31
2.5.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	34
2.5.2.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อ	34
2.5.2.2 ความถี่ใช้งาน	34
2.5.2.3 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงและการมัลติเพล็กซ์ช่องสัญญาณ	36
2.5.2.4 วิธีการมอดูเลตสัญญาณ	37
2.5.2.5 การข้ามเซลล์ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	37
2.5.2.6 ระบบโพรโตคอลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	39
2.5.2.7 รายละเอียดของสถานีเซลล์และเครื่องโทรศัพท์พีซีที	42
2.5.2.8 สายอากาศของเซลล์สเตชันระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล PCT	43
2.5.3 กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที	43
บทที่ 3 ทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น	44
3.1 หลักการแพร่กระจายคลื่น	44
3.2 กลไกพื้นฐานของการของการแพร่กระจายคลื่น	47
3.2.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection)	47
3.2.2 การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction)	51
3.2.3 การกระเจิงของคลื่น (Scattering)	54
3.3 วิธีการหาค่าสูญเสียของสัญญาณ	56
3.3.1 วิธีการของ COST-231 HATA สำหรับเซลล์ขนาดเล็ก	55
3.3.2 วิธีการของ COST-231/Walfish/Ikegami	56
3.3.3 วิธีการของ C.Y Lee	58
บทที่ 4 วิธีการนำเสนอและผลการทดลอง	60

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 รูปแบบเส้นทางบนถนนไมโครเซลล์.....	60
4.2 วิธีการที่นำเสนอ.....	61
4.3 การทดลอง.....	66
4.4 ผลการทดลอง.....	70
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	81
เอกสารอ้างอิง.....	83
ประวัติผู้เขียน.....	86

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบ CT2.....	12
2.2 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบ DECT.....	14
2.3 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบ PACS.....	16
2.4 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส.....	26
2.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล.....	28
2.6 การใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์ PHS.....	35
4.1 คุณสมบัติของเครื่องวัดความเข้มสัญญาณ (PSH Field Protocol Analyzer) รุ่น LF-960 ยี่ห้อ Leader.....	70
4.2 คุณสมบัติของสายอากาศวัดความเข้มสัญญาณ (PSH Field Protocol Analyzer) รุ่น LF-960 ยี่ห้อ Leader.....	71
4.3 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายที่ได้จากการคำนวณและจากการวัด.....	73
4.4 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายที่ได้จากการคำนวณและจากการวัด.....	74
4.5 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายที่ได้จากการคำนวณและจากการวัด.....	75

# สารบัญรูป

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

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 การเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออกจากโทรศัพท์พื้นฐานพกพา ส่วนบุคคลพีซีที.....	43
3.1 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิก.....	46
3.2 การสะท้อนของคลื่น.....	47
3.3 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากผิวโลก.....	49
3.4 หลักการของ Huygen.....	51
3.5 การหักเหของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง.....	51
3.6 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen.....	52
3.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ของ โมเดล COST-231/Walfisch/Ikegami.....	56
4.1 (a) รูปแบบของถนนไมโครเซลล์ในเขตพื้นที่เมือง.....	61
(b) ลักษณะกราฟ Path Loss บนเส้นทาง LOS.....	61
(c) ลักษณะกราฟ Path Loss บนเส้นทาง NLOS.....	61
4.2 เส้นทางการเดินทางของคลื่น.....	62
4.3 บล็อกไดอะแกรมเครื่องรับและค่าตัวล็อกเกอร์ (Data logger) ที่ใช้ในการวัดสนาม.....	67
4.4 ลำดับขั้นของโปรแกรม.....	71
4.5 ลำดับขั้นของโปรแกรม (ต่อ).....	72
4.6 การสูญเสียจากการแพร่กระจายบนถนนหลัก.....	76
4.7 การสูญเสียจากการแพร่กระจายที่ถนนย่อยที่ตั้งฉากกับถนนหลัก.....	76
4.8 การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายที่ถนนย่อยที่ขนานกับถนนหลัก.....	77
4.9 ระดับผลการวัดการสูญเสียจากการแพร่กระจายบนถนนหลัก.....	78
4.10 การเปรียบเทียบการสูญเสียจากการแพร่กระจายระหว่างการคำนวณแบบการวัดบนถนน หลัก.....	78
4.11 ระดับผลการวัดการสูญเสียจากการแพร่กระจายบนถนนย่อยที่ตั้งฉาก.....	79
4.12 การเปรียบเทียบการสูญเสียจากการแพร่กระจายระหว่างการคำนวณและการวัดบนถนนย่อย ที่ตั้งฉาก.....	79
4.13 ระดับผลการวัดการสูญเสียจากการแพร่กระจายบนถนนย่อยที่ขนานกับถนนหลัก.....	80

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 การเปรียบเทียบการสูญเสียจากการแพร่กระจายระหว่างการคำนวณและการวัดบนถนน ย่อยที่ขนานกับถนนหลัก.....	80

## รายการคำย่อ

ทศท.	: องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย/บริษัท ทศท คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)
กสท.	: การสื่อสารแห่งประเทศไทย/บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน)
ADPCM	: Adaptive Differential Pulse Code Modulation
ARIB	: Association of Radio and Industries and Businesses
AM	: Access Manager
AMPS	: Advance Mobile Phone System
AT&T	: American Telephone & Telegraph
BC	: Billing Center
BRI	: Basic Rate Interface
CC	: Cordless Controller หรือ Cluster Controllers
CCH	: Control Channel
CDR	: Call Detail Record
CDMA	: Code Division Multiple Access
CFP	: Cordless Fixed Part
CPP	: Cordless Portable Part
CRC	: Cyclic Redundancy Check
CS	: Cell Station
CT2	: Cordless Telephone generation Two
CTA	: Cordless Terminal Adapter
DECT	: Digital Cordless Telephone
DLC	: Data Link Control layer
EOC	: Embedded Operations Channel
ERP	: Effective Radiated Power
ETSI	: European Telecommunication Standard Institute
FDD	: Frequency Division Duplex
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
GFSK	: Gaussian filtered binary Frequency-Shift Keying
GMSK	: Gaussian Minimum Shift Keying
GSM	: Global System for Mobile communication

## รายการคำย่อ (ต่อ)

GSP	: Group Switching Processor
GTD	: Geometrical Theory of Diffraction
HLR	: Home Location Register
ISDN	: Integrated Services Digital Network
LOS	: Line-Of-Sight
MAC	: Medium Access Control layer
NLOS	: Non-Line-Of-Sight
NMS	: Network Management System
NMT	: Nordic Mobile Telephone
OSI	: Open System Interconnection
PABX	: Private Automatic Branch Exchange
PACS	: Personal Access Communication System
PCN	: Personal Communication Network
PCS	: Personal Communication System
PCT	: Personal Communication Telephone
PDC	: Pacific Digital Cellular
PH	: Portable Handset
PHS	: Personal Handyphone System
PIN	: Personal Identification Number
PS	: Personal Station
PSTN	: Public Switched Telephone Network
RFP	: Radio Fixed Part
RP	: Radio Port
RPCU	: Radio Port Control Unit
SCCH	: Signaling Control Channel
SCP	: Service Control Point
SS7	: Signaling System No.7
SSP	: Service Switching Point
SU	: Subscriber Unit

## รายการคำย่อ (ต่อ)

TACS	: Total Access Communication System
TTC	: Telecommunications Technical Committee
TCH	: Traffic Channel
TDD	: Time Division Duplex
TDMA	: Time Division Multiple Access
TOT	: Telephone Organization of Thailand
UTD	: Uniform Theory of Diffraction
WPABX	: Wireless Private Automatic Branch Exchange
WLL	: Wireless Local Loop
$\pi/4$ -DQPSK	: $\pi/4$ Differential Quadrature Phase Shift Keying

# บทที่ 1

## บทนำ

การติดต่อสื่อสารระหว่างบุคคลในสภาวะการณ์ปัจจุบันนี้นั้น เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการดำเนินชีวิต เนื่องจากความต้องการความรวดเร็วในการติดต่อในเรื่องส่วนตัวหรือด้านธุรกิจเพราะในสังคมปัจจุบันมีการแข่งขันกันค่อนข้างสูง การรับรู้ข่าวสารที่รวดเร็วย่อมมีความได้เปรียบในการเจริญเติบโตทางด้านภาคธุรกิจ โครงข่ายสื่อสารโทรคมนาคมในประเทศไทยได้พัฒนาให้มีความทันสมัยสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในประเทศด้วยความร่วมมือจากภาครัฐและเอกชน เพื่อให้รองรับกับความต้องการการใช้งานด้านต่างๆ ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตทั้งทางด้านเศรษฐกิจ และสังคมของประเทศไทย

มนุษย์ได้มีการพัฒนาการติดต่อสื่อสารกันระหว่างบุคคล จากการใช้ลักษณะท่าทางในการติดต่อกันก็ได้มีการคิดค้นภาษาพูดและภาษาเขียนขึ้นมา ซึ่งเป็นการสื่อสารกันในระยะทางที่ใกล้ๆ เมื่อมนุษย์ได้คิดค้นพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ขึ้นมาทำให้การติดต่อสื่อสารระหว่างกันสามารถมีระยะทางที่ไกลขึ้นได้ ระบบโทรศัพท์ก็เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้ถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อใช้ติดต่อสื่อสารในระยะทางไกล ซึ่งวิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์ก็ได้เริ่มต้นจากระบบที่ใช้สายเชื่อมต่อเพื่อสื่อสารกันระหว่างเครื่องโทรศัพท์ จากนั้นก็ได้มีการคิดค้นระบบที่ใช้คลื่นวิทยุในการเชื่อมต่อกันแทนการใช้สาย เช่น โทรศัพท์ระบบเซลลูลาร์ หรือ โทรศัพท์ไร้สายแบบต่างๆ ซึ่งจะช่วยรองรับผู้ใช้งานที่อยู่ในบริเวณที่ระบบโทรศัพท์พื้นฐานไม่สามารถให้บริการได้ และเพิ่มความสะดวกรวดเร็วในการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน

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

NMT-900 และ AMPS-800 แต่เนื่องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบอนาล็อกมีคุณภาพ และการพัฒนาระบบที่จำกัด จึงทำให้มีการนำเอาระบบดิจิทัลมาให้บริการ ซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบดิจิทัลที่ใช้ในประเทศไทยนี้ คือ ระบบดิจิทัล GSM (Global System for Mobile communication) ระบบดิจิทัล PCN 1800 (PCN : Personal Communication Network) ระบบดิจิทัล CDMA (Code Division Multiple Access) ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล PCT (Personal Communication Telephone : PCT) ซึ่งในปัจจุบันบริษัทต่างๆ ที่ให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็ได้นำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาใช้ในประเทศไทย เพื่อรองรับกับการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น และสามารถที่จะใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ไม่เพียงแต่การส่งเสียงเท่านั้น แต่ยังสามารถที่จะใช้ในการส่งข้อมูลที่ไม่ใช่เสียงได้ เช่น ส่งข้อความสั้น ข้อมูลที่เป็นรูปภาพหรือข้อมูลที่เป็นภาพเคลื่อนไหวได้ เป็นต้น

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

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

ในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณของสถานีเซลล์ เช่น เพิ่มลดกำลังส่ง เปลี่ยนชนิดของสายอากาศ หรือตำแหน่งการติดตั้ง ปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาคือเป็นเพราะอ้างอิงรูปแบบพื้นที่ครอบคลุมของสถานีเซลล์เบื้องต้น [1] โดยไม่ได้คำนึงถึงความเป็นจริงในการแพร่กระจายคลื่นการส่งสัญญาณจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องลูกข่าย (Personal Station : PS) นั้น คลื่นจะเดินทางผ่านสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันในพื้นที่ ซึ่งในพื้นที่เขตเมืองนั้นจะมีสิ่งก่อสร้างต่างๆ ที่มนุษย์สร้างขึ้น ถ้าสิ่งก่อสร้างเหล่านี้มีขนาดเท่ากับความยาวคลื่นที่แพร่กระจายจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการแพร่กระจายคลื่นไปจากเดิม เช่น การกระเจิงของคลื่น (Scatter) เกิดการสะท้อนของคลื่น (Reflect) เป็นต้น ดังนั้นค่าระดับสัญญาณของเครื่องลูกข่ายที่รับได้จะต้องคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมของการแพร่กระจายคลื่นด้วย

การแพร่กระจายคลื่นในพื้นที่เขตเมืองนั้น สามารถแยกคลื่นที่เดินทางจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องลูกข่ายได้ 2 ประเภท คือ คลื่นตรง (Direct wave) และคลื่นสะท้อน (Reflect wave) โดยเครื่องลูกข่ายจะรับคลื่นตรงจากทิศทางเดียวและมีระดับสัญญาณแรงที่สุด ส่วนคลื่นสะท้อนจะรับได้จากทุกทิศทางที่เข้ามาแต่จะมีระดับสัญญาณที่อ่อนกว่า มีเฟสของคลื่นที่เหมือนและแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการเสริมหรือหักล้างกัน ทำให้ระดับสัญญาณที่รับได้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ โดยจะเรียกลักษณะการเกิดแบบนี้ว่า การเฟดดิ้งของสัญญาณ ซึ่งในการติดตั้งสถานีเซลล์ของโทรศัพท์ระบบ PCT นั้นจะติดตั้งบนเสาไฟฟ้าบริเวณข้างถนน ซึ่งส่วนมากจะต่ำกว่าความสูงของตัวอาคาร ทำให้เกิดการแพร่กระจายคลื่นตรงจากสถานีเซลล์ไปยังเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในเส้นทางที่เรียกว่า ระดับแนวสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS) ดังนั้นสัญญาณที่รับได้ในเส้นทาง NLOS จะเกิดจากคลื่นที่สะท้อนกับตัวอาคาร ซึ่งจะส่งผลให้เกิดค่าลดทอน และการเฟดดิ้งของสัญญาณสูงกว่าในเส้นทางระดับแนวสายตา (Line-of-Sight: LOS) ทำให้รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นเปลี่ยนไปจากรูปแบบมาตรฐานได้ งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาในเรื่องค่าลดทอนที่เกิดจากมุมอาคารและวิธีการคำนวณเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณของสถานีเซลล์ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

การปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณหรือติดตั้งสถานีเซลล์ในพื้นที่นั้นต้องการความสะดวกและรวดเร็ว โดยบางครั้งไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ในพื้นที่ซึ่งบางอย่างเป็นสิ่งสำคัญมากในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพให้โครงข่ายสามารถรองรับการใช้งานเพิ่มขึ้น จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าในพื้นที่เขตเมืองนั้นมีสภาพแวดล้อมส่วนมากเป็นตัวอาคารที่อยู่สองข้างถนน การที่จะทำการออกแบบจุดติดตั้งสถานีเซลล์ในพื้นที่เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานได้ ควรจะต้องศึกษาวิธีการแพร่กระจายคลื่นของสถานีเซลล์ในเขตเมืองและปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบกับค่าลดทอนของสัญญาณ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือศึกษาวิธีการแพร่กระจายคลื่น และปัจจัยที่สำคัญเหล่านั้น เพื่อสามารถที่จะนำเสนอทฤษฎีและสมการที่มีอยู่แล้วที่เหมาะสม ในกาคำนวณค่าลดทอนของสัญญาณเพื่อใช้พิจารณาตัดสินใจ ปรับปรุงสถานีเซลล์บริเวณที่คาดว่าจะมีปัญหา ซึ่งวิธีการที่นำเสนอ นั้นสามารถนำไปใช้งานกับระบบโทรศัพท์ PCT ได้อย่างเหมาะสม เนื่องจากเป็นวิธีการที่ใช้สำหรับสถานีเซลล์ชนิดไมโครเซลล์

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการวิจัยในพื้นที่เขตเมืองซึ่งสิ่งแวดล้อมส่วนมากจะเป็นตัวอาคารสองข้างถนน การแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์นั้นจะแพร่กระจายไปตามเส้นทางในระดับแนว

สายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS) และสะท้อนกับอาคารบริเวณข้างถนนแพร่กระจายเข้าไปยังเส้นทางในระดับแนวสายตา (Non-Line-of-Sight: NLOS) ด้วย ในกรณีถนนที่เป็น LOS ปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลกับค่าระดับของสัญญาณคือความสูงของสถานีเซลล์ การแพร่กระจายคลื่นนั้นจะแพร่กระจายไปยังถนนที่มีรูปแบบและขนาดแตกต่างกัน จากที่กล่าวมาแล้วว่าการแพร่กระจายคลื่นเข้าไปยังถนนที่เป็น NLOS นั้น เกิดจากการสะท้อนกับตัวอาคารในเส้นทาง LOS ดังนั้นระดับสัญญาณที่รับได้หลังจากมุลีของอาคารต่างๆ ย่อมจะแตกต่างกัน การที่ใช้รูปแบบพื้นฐานของพื้นที่ครอบคลุมของสถานีเซลล์อาจจะไม่ถูกต้องและเหมาะสมเสมอไป การสะท้อนไปมาระหว่างตัวอาคารทำให้ระยะทางการเดินทางของคลื่นระหว่างสถานีเซลล์กับเครื่องลูกข่ายมากขึ้น ทำให้ค่าการลดทอนสัญญาณควรจะสูงกว่าในเส้นทาง LOS

#### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

การคาดคะเนค่าสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นของสถานีเซลล์แบบไมโครเซลล์ในพื้นที่เขตเมืองโดยใช้หลักการสะท้อนและหักเหของคลื่นนั้นมีหลากหลายวิธี เช่น Lee model, COST 231-Hata Model, COST 231-Walfisch/Ikegami และ Ray Tracing and UTD Model

การคำนวณค่าการสูญเสียที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะใช้สำหรับพื้นที่เขตเมืองที่มีสิ่งแวดล้อมส่วนมากเป็นตัวอาคาร ดังนั้นในกรณีของถนนที่เป็น LOS การคำนวณค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นจะใช้การคาดคะเนแบบจุดต่อจุดเทียบกับระยะทางในพื้นที่ต่างๆ ที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น ในกรณีที่เป็น NLOS การแพร่กระจายคลื่นจะเกิดจากการสะท้อนกับตัวอาคารในเส้นทาง LOS และค่าการสูญเสียจะเกิดขึ้นตามการสะท้อนไปมาระหว่างตัวอาคาร โดยขั้นตอนแรกจะทำการสร้างโมเดลตำแหน่งของตัวอาคารที่จำลองเป็นบล็อกสี่เหลี่ยมและรูปแบบของถนนให้ใกล้เคียงพื้นที่จริงเพื่อหาเส้นทางเดินทางของคลื่น ซึ่งจะทำให้ทราบค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาค่าลดทอนที่เกิดจากการสะท้อนและหักเหจากอาคารในเส้นทาง และทำการพล็อตกราฟแสดงระดับสัญญาณของคลื่นตลอดเส้นทางที่คลื่นเดินทางจากจุดติดตั้งสถานีเซลล์ไปตามถนนต่างๆ เช่น ถนนหลัก, ถนนที่ตั้งฉากกับถนนหลัก และถนนที่ขนานกับถนนหลัก

#### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ทำการศึกษาวิจัยเพื่อทำการเปรียบเทียบโมเดลต่างๆ ที่มีอยู่ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นของสถานีเซลล์ชนิดติดตั้งภายนอกอาคารของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุบุคคล PCT ในพื้นที่เขตเมือง พล็อตกราฟแสดงระดับสัญญาณของคลื่นเพื่อใช้พิจารณานำเสนอโมเดลที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด และการทดลองในงานวิจัยนี้ใช้พื้นที่จำลองของ ถนนสีลม ถนนรัชดา และถนนบางนา-ตราด

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

การศึกษาข้อมูลในงานวิจัยนี้ จะเริ่มต้นด้วยการศึกษาเนื้อหาทฤษฎีเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องกับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (PCT) เช่น โครงข่ายของโทรศัพท์ PCT การทำงานของสถานีเซลล์ วิธีการข้ามเซลล์ ชนิดและรูปแบบพื้นที่ครอบคลุมของสถานีเซลล์ เป็นต้น ขั้นตอนต่อมาได้ศึกษาการแพร่กระจายคลื่นเบื้องต้นของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ การแพร่กระจายคลื่น และสมการที่ใช้คำนวณการสูญเสียในเส้นทาง LOS และ NLOS ของสถานีเซลล์ชนิดไมโครเซลล์

โดยวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้จัดแบ่งเนื้อหาออกเป็น

บทที่ 1 ได้กล่าวถึงบทบาท และความจำเป็นในการใช้ระบบ โทรศัพท์ในการติดต่อสื่อสารระหว่างกัน การริเริ่มการให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทย จนถึงปัจจุบัน รวมทั้งได้กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎี หรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 ได้กล่าวถึงความรู้เบื้องต้นของโทรศัพท์ระบบไร้สาย ซึ่งจะประกอบด้วยวิวัฒนาการของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย โดยเริ่มจากระบบแบบอนาล็อกไปสู่ระบบดิจิทัลในแบบต่างๆ เช่น CT 2 (Cordless Telephone generation Two) ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone) ระบบ PACS (Personal Access Communication System) และระบบ PHS (Personal Handyphone System) จากนั้นได้กล่าวถึงระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที ซึ่งได้อธิบายเกี่ยวกับ โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล พีซีที คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที และสุดท้ายก็จะเป็นกรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

บทที่ 3 ได้กล่าวถึงทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งจะประกอบไปด้วยหลักการแพร่กระจายคลื่น โดยจะอธิบายการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของสายอากาศแบบไอโซโทรปิกในลักษณะรอบทิศทาง และค่าการลดทอนของสัญญาณด้วยสมการที่เกี่ยวข้อง อธิบายกลไกพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ ซึ่งกลไกพื้นฐานนั้นจะประกอบไปด้วย การสะท้อนของคลื่น การหักเหของคลื่น และการกระเจิงของคลื่น สุดท้ายได้ อธิบายและแสดงตัวอย่างวิธีการหาค่าสูญเสียของสัญญาณ เช่น วิธีการของ Okamura วิธีการของ HATA สำหรับเซลล์ขนาดเล็กวิธีการของ COST-231/Walfisch/Ikegami และ วิธีการของ C.Y.Lee

บทที่ 4 ได้กล่าวถึงวิธีการที่นำเสนอและผลการทดลองในงานวิจัยนี้ ซึ่งจะประกอบไปด้วยรูปแบบเส้นทางบนถนนไมโครเซลล์ การวิเคราะห์การแพร่กระจายคลื่นและสมการในการคำนวณค่าการสูญเสียในเส้นทาง LOS และ NLOS ผลการทดลองซึ่งได้ทำการทดสอบเส้นทาง ของการแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์ โดยจะแสดงค่าการลดทอนเนื่องจากการสะท้อนผนังอาคารและ

การหักเหที่เกิดจากมุมอาคาร และรูปภาพเปรียบเทียบค่าของโมเดลที่นำเสนอกับค่าที่วัดได้ในพื้นที่ของเส้นทางต่างๆ เหล่านี้

บทที่ 5 เป็นบทสรุปและวิจารณ์ผลการทดลองที่ได้จากการวิจัย

## บทที่ 2

# ความรู้เบื้องต้นของโทรศัพท์ระบบไร้สาย

ปัจจุบันการสื่อสารไร้สายได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ดังจะเห็นได้จากมีการให้บริการรูปแบบใหม่ๆ เกิดขึ้นตลอดเวลา เช่น การให้บริการโทรศัพท์แบบดิจิทัล การให้บริการข้อมูลข่าวสารรูปแบบต่างๆ การให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์ หรือการให้บริการภาพซึ่งการพัฒนาของเทคโนโลยีใหม่ดังกล่าวนี้ พอจะจำแนกได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือ ส่วนการพัฒนา ระบบเครือข่าย ส่วนที่ 2 คือ การพัฒนาในส่วนของการให้บริการ ในส่วนของการพัฒนาระบบเครือข่ายการสื่อสารแบบไร้สายนั้น จะมีการพัฒนาการเป็นลำดับขั้นจากระบบอนาล็อก สู่อะบบดิจิทัลซึ่งการพัฒนาในระบบการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ ในระยะแรก จะสร้างโครงข่ายเป็นขนาดใหญ่ ซึ่งอาจมีรัศมี 50 กิโลเมตร จึงก่อให้เกิดปัญหาอยู่ 2 ประการ คือ ประการแรก สัญญาณวิทยุที่อยู่ใกล้และไกลจากสถานีมีฐานมีความแรงสัญญาณไม่เท่ากัน ทำให้การควบคุมระดับสัญญาณเป็นไปด้วยความยากลำบาก ประการที่สอง ต้องใช้กำลังส่งสูง ทำให้เครื่องบริการมีขนาดใหญ่ไม่เหมาะสมกับการพกติดตัวไปยังสถานที่ต่างๆ ต่อมาจึงได้พัฒนาเข้าสู่ระบบ เซลลูลาร์ โดยใช้เซลล์ขนาดเล็กลงในรัศมีประมาณ 10-20 กิโลเมตร นอกจากนี้การใช้เทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ในเซลล์ที่อยู่ไกลออกไป เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนของสัญญาณระหว่างเซลล์ข้างเคียงขึ้น ทำให้การควบคุมสัญญาณดีขึ้น จากนั้นก็ได้มีการพัฒนาระบบแยก หรือการแบ่งเซลล์ออกเป็นหลายๆ ส่วน เพื่อลดขนาดของเซลล์ลง จึงทำให้หนึ่งสถานีฐานจะต้องดูแลเครื่องลูกข่ายจำนวนหลายร้อยเครื่อง หรืออาจเป็นพันๆ เครื่อง เมื่อมีผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาการขาดหายไปของสัญญาณ (Muting) หรือการเกิดรบกวนทางความถี่ ของช่องสัญญาณข้างเคียงที่ใช้ความถี่เดียวกัน (Co-channel interference) อันเกิดขึ้นเนื่องจากการติดตั้งสถานีฐานด้วยระยะห่างที่มากหรือน้อยเกินไปตามลำดับ นอกจากนี้ปัญหาที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่มีมักจะเกิดขึ้นก็คือปัญหาการโทรไม่ติด ทั้งๆ มีการใช้งานในพื้นที่การให้บริการ อันเนื่องจากระดับของสัญญาณที่ได้รับมีความแรงไม่เพียงพอต่อการติดต่อ โดยผู้ใช้บริการสามารถสังเกตได้จากระดับของสัญญาณจากเครื่องให้บริการ โดยปกติแล้วลักษณะพื้นที่ในเขตตัวเมืองจะเป็นที่ราบ แต่บางพื้นที่จะมีลักษณะไม่ราบเรียบ อาจจะทำให้เกิดการกีดขวางเส้นทางการเดินทางของคลื่น ซึ่งจะแตกต่างจากการกีดขวางอันเนื่องมาจากสิ่งก่อสร้างที่คลื่นสามารถสะท้อนจากตัวอาคารมายังเครื่องรับได้ ทำให้เกิดพื้นที่ที่เรียกว่า โฮล (Hole) หรือจุดบอดของสัญญาณขึ้น วิธีการแก้ไขก็คือ การเปลี่ยนแปลงความสูงของสายอากาศส่ง เพื่อให้เส้นทางการเดินทางของคลื่นพื้นสิ่งกีดขวาง แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้น ก็คือ ทำให้ขอบเขตของเซลล์ครอบคลุมพื้นที่กว้างขึ้น และเหลื่อมล้ำเข้าไปในเซลล์ข้างเคียง ทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอรัเร้นท์ขึ้น ซึ่งวิธีการแก้ไขปัญหาดังกล่าว จะต้องใช้ต้นทุนสูง ดังนั้นวิศวกรจึงได้ทำการพัฒนาระบบ

โครงข่ายใหม่ที่ใช้เทคนิคของเซลล์ขนาดเล็ก เช่น ไมโครเซลล์ หรือนาโนเซลล์ เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่บริการได้มากขึ้น และลดปัญหาอันเนื่องมาจากการเกิดอินเตอร์เฟียร์เร้นท์ ซึ่งอาจจะถือได้ว่าเป็นวิธีการเดียวที่สามารถแก้ปัญหาการเกิดจุดบอดของสัญญาณได้

ในส่วนของเครื่องให้บริการ ก็คือการพัฒนาจากเครื่องให้บริการที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ติดตั้งรถยนต์ ซึ่งเป็นระบบอนาล็อก ก็พัฒนาสู่เครื่องให้บริการหิ้วถือ และเครื่องให้บริการในระบบดิจิทัล เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์ โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส โดยตัวเครื่องจะมีขนาดเล็กลง สามารถพกพาได้อย่างสะดวกสบาย อันเนื่องมาจากเทคโนโลยีในการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถใช้งานได้ในความถี่สูงๆ อีกทั้งยังมีการพัฒนาในด้านโครงข่ายต่างๆ เช่น โครงข่ายการให้บริการร่วมระบบดิจิทัล โครงข่ายของระบบควบคุม SS7 หรือโครงข่ายที่ใช้ระบบคอมพิวเตอร์อันชาญฉลาด หรือที่เรียกกันว่า โครงข่ายอัจฉริยะ ซึ่งการพัฒนาโครงข่ายทั้งหมดดังที่ได้กล่าวมานี้จะนำไปสู่ระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล โดยเครื่องให้บริการจะมีขนาดเล็ก กะทัดรัด น้ำหนักเบา สะดวกในการพกพาไปยังที่ต่างๆ ราคาถูกเมื่อเทียบกับโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ มีกำลังส่งต่ำ ทำให้ประหยัดพลังงานและมีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่นานต่อการชาร์จหนึ่งครั้ง โดยระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล (PCS : Personal Communication System) ที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น CT2 (Cordless Telephone generation Two) ระบบ PACS (Personal Access Communication System) ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone) และระบบ PHS (Personal Handyphone System)

สำหรับการพัฒนาระบบการสื่อสารแบบไร้สายในประเทศไทย ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสมาใช้ และทำการปรับปรุง โดยเพิ่มเติมส่วนของโครงข่ายอัจฉริยะเพื่อสามารถให้บริการในลักษณะบริการเสริมของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (TRUE) เป็นผู้ดำเนินการให้บริการระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล ในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล

## 2.1 วิวัฒนาการของระบบการสื่อสารแบบไร้สาย

ตั้งแต่ก่อนปี ค.ศ. 1990 การสื่อสารแบบไร้สายได้มีการพัฒนาการอย่างรวดเร็วโดยมีการพัฒนาจากระบบอนาล็อกสู่ระบบดิจิทัล จากการให้บริการเสียงสู่การให้บริการแบบหลายสื่อ หรือที่เรียกว่า “การให้บริการมัลติมีเดีย” โดยวิวัฒนาการเหล่านี้เป็นจุดเริ่มต้นที่จะนำไปสู่เทคโนโลยีของการสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งเป็นระบบที่มีการพัฒนาขึ้นมาอย่างรวดเร็วควบคู่ไปกับการพัฒนาโครงข่ายคอมพิวเตอร์หรือระบบอินเทอร์เน็ต ที่มีความสามารถในการส่งสัญญาณข้อมูลด้วยความเร็วที่เทียบเท่าระบบการส่งสัญญาณแบบใช้สาย โดยมีการพัฒนาการส่งสัญญาณเสียงด้วยอัตราเร็ว 1 ถึง 2 Mbps สำหรับการบริการมัลติมีเดีย รวมทั้งการส่งสัญญาณวิดีโอ ซึ่งจะต้องใช้งานแถบความถี่ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่าที่จะสามารถทำได้ ถึงแม้ว่าในปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบ

โทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ (GSM : Global System for Mobile) และระบบโทรศัพท์ดิจิทัลส่วนบุคคล (PDC : Personal Digital Cellular) เพื่อใช้ในการสื่อสารในการบริการร่วมแบบใช้เสียงหรือไม่ใช้เสียงก็ตาม แต่อัตราในการส่งสัญญาณยังคงจำกัดอยู่ที่ 10 kbps ซึ่งเป็นอัตราการส่งสัญญาณที่ต่ำเกินไปสำหรับการให้บริการมัลติมีเดีย ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเข้าสู่ระบบการสื่อสารแบบไร้สายดิจิทัลเข้าสู่ระบบการสื่อสารในยุคที่สาม โดยมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการสื่อสารจากวิธีการมอดูเลตแบ่งรหัส (CDMA : Code Division Multiple Access) นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาเทคนิคของการเข้าและถอดรหัส (Modulation/Demodulation) ระบบของการซิงค์โครไนซ์ (Synchronization) รวมทั้งคุณลักษณะพิเศษของหลักการแพร่กระจายคลื่น (Propagation path characteristics) ของระบบการสื่อสารแบบไร้สายด้วย

การพัฒนาในระบบสื่อสารแบบไร้สายนั้น หลายๆ ระบบได้พัฒนาจากระบบอนาล็อกสู่ระบบดิจิทัล เพื่อสามารถนำมาใช้งานในรูปแบบมัลติมีเดียร่วมกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ระบบสื่อสารไร้สายแบบดิจิทัลจะมีพื้นที่ครอบคลุมน้อยกว่าระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมทั้งมีขนาดที่เล็กลง เพื่อความสะดวกในการพกพา หลังจากปี ค.ศ. 1980 ได้เริ่มมีการใช้งานโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัลอย่างแพร่หลาย ถึงแม้ว่าจะมีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ให้บริการที่สามารถให้บริการในตัวอาคารเทียบเท่าโทรศัพท์ไร้สาย จึงได้มีการนำเทคนิคการใช้เซลล์ขนาดเล็กมาใช้เพื่อขยายพื้นที่การให้บริการ และพัฒนาไปสู่ระบบการสื่อสารส่วนบุคคล

## 2.2 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก

ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก [3] มีความนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการใช้งานสำหรับที่พักอาศัย โดยใช้คลื่นวิทยุในการเชื่อมต่อแทนการใช้สาย เพื่อให้ผู้ใช้สามารถที่จะเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนก็ได้ ในขณะที่มีการใช้งาน ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกได้ถูกนำมาใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นเวลานานพอสมควรแล้ว โดยในระยะแรก ความถี่ที่จัดสรรให้กับโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก จะใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ (FDD : Frequency Division Duplex) แบ่งออกเป็น 2 แถบความถี่ ๆ ละ 10 ช่องสัญญาณ โดยในแถบความถี่แรกจะอยู่ในย่าน 49 MHz ใช้สำหรับการส่งสัญญาณจากตัวเครื่องโทรศัพท์ไปยังสถานีฐาน (Uplink หรือแถบความถี่ขาขึ้น) ส่วนแถบความถี่ที่สองจะอยู่ในย่าน 1.6 MHz ใช้สำหรับการส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังตัวเครื่องโทรศัพท์ (Downlink หรือแถบความถี่ขาลง) แต่การจัดสรรความถี่ในลักษณะนี้ไม่ค่อยจะมีประสิทธิภาพในการทำงานมากเท่าไรนัก ต่อมาในปี 1984 จึงได้มีการจัดสรรแถบความถี่ โดยใช้ความถี่ลงในช่วง 46.6-47.0 MHz และใช้แถบความถี่ขาขึ้นในช่วง 49.6-50.0 MHz และแบ่งช่องสัญญาณออกเป็น 10 ช่องๆ ละ 40 kHz มีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณเป็น 20 kHz และมีค่ากำลังการแผ่กระจายคลื่นที่เกิดขึ้นจริง (ERP : Effective Radiated Power) แบบอนาล็อกสำหรับสัญญาณเสียง นอกจากนี้ยังมีการเข้ารหัสสัญญาณแบบดิจิทัลเพื่อรักษาความปลอดภัยของ

ระบบสัญญาณ แต่ยังคงมีความพยายามจากภาคอุตสาหกรรมทางโทรคมนาคม ที่จะขอเพิ่มจำนวน คู่ความถี่ เพื่อแก้ไขปัญหาความแออัดของการใช้สัญญาณและคุณภาพของเสียงที่ด้อยลง เนื่องจากมี ปริมาณการใช้งานสูง จึงทำให้เกิดการรบกวนของสัญญาณ หรือการอินเตอร์เฟียร์เรนซ์ (Interference) จึงทำให้คุณภาพของเสียงด้อยลง ลักษณะการใช้งานของโทรศัพท์ไร้สายโดยทั่วไป แล้ว จะใช้อยู่ในบริเวณที่มีขอบเขตจำกัด เช่น บ้าน อาคาร ที่พักอาศัย สำนักงาน หรือตึกสูงๆ และ ใช้งานที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำ เช่น ความเร็วในการเดิน เป็นต้น

ในประเทศอังกฤษก็ใช้มาตรฐานโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกระบบ CT2 โดยใช้แถบ ความถี่ขาขึ้นในย่านความถี่ใกล้ 1.7 MHz และใช้แถบความถี่ขาลงในย่าน 47.5 MHz ในแต่ละแถบ ความถี่จะแบ่งเป็น 8 ช่องสัญญาณ ซึ่งเครื่องโทรศัพท์ไร้สายส่วนใหญ่จะมีขีดจำกัดในการใช้เพียง หนึ่ง หรือสองช่องสัญญาณเท่านั้น

ในยุโรปมีการนำมาตรฐานโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกที่เรียกว่า ระบบ CEPT/CT1 มา ใช้โดยโทรศัพท์ไร้สายในระบบนี้ จะใช้เทคนิคการดูเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ออกเป็น 2 แถบ ความถี่ๆ ละ 40 ช่องสัญญาณ มีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 25 kHz โดยใช้แถบความถี่ขาขึ้นใน ย่าน 914-915 MHz และแถบความถี่ขาลงในย่าน 959-960 MHz เครื่องโทรศัพท์ไร้สายระบบ CEPT/CT1 สามารถเลือกใช้ช่องความถี่จากช่องความถี่ทั้งหมด 40 ช่องความถี่ในการใช้งานแต่ละ ครั้ง จำนวนช่องความถี่ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ได้คุณภาพเสียงที่ดีกว่า และมีค่าความน่าจะเป็นของการ โทร ไม่ติดค่า จึงทำให้สามารถใช้งานได้ทั่วไป แม้ในบริเวณที่มีประชากรหนาแน่น เช่น ศูนย์การค้า สถานีขนส่ง โรงแรม หรือสนามบิน เป็นต้น

ในประเทศญี่ปุ่น ได้มีการจัดสรรช่องความถี่ดูเพล็กซ์สำหรับโทรศัพท์ไร้สายแบบ อนาล็อก จำนวน 89 ช่องสัญญาณ ในย่านความถี่ 254 MHz สำหรับแถบความถี่ขาขึ้นและความถี่ 380 MHz สำหรับแถบความถี่ขาลง โดยระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 12.5 kHz และมีกำลังส่ง สูงสุด 10 mW ซึ่งมาตรฐานในประเทศญี่ปุ่น จะแตกต่างจากมาตรฐานของระบบ CEPT/CT1 โดย โทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อกของประเทศญี่ปุ่นนั้น จะประกอบด้วยช่องสัญญาณควบคุมจำนวน สองช่องสัญญาณเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารให้มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

### 2.3 ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัล

ในขณะที่ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบอนาล็อก สร้างขึ้นสำหรับการใช้งานภายในที่พัก อาศัยระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลนั้นก็ได้ออกมาประยุกต์และพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อให้ สามารถใช้งานได้ทั้งภายในอาคาร เช่น บ้าน ที่พักอาศัย สำนักงาน อาคารพาณิชย์ และภายนอก อาคาร เช่น ในย่านธุรกิจ หรือศูนย์การค้าต่างๆ ในการใช้งานระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลนั้น ผู้ใช้บริการสามารถที่จะเคลื่อนที่ไปยังที่ใดก็ได้ ขณะที่มีการสนทนากันอยู่ โดยสามารถจะเรียกใช้ บริการ หรือยกเลิกการติดต่อได้ ในขณะที่เคลื่อนที่อยู่ในบริเวณที่คลื่นครอบคลุมถึง ด้วยความเร็ว

ของการเดินเท้า ระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลที่เป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ได้แก่ระบบ CT2 (Cordless Telephone generation Two) [4] ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone) [5, 6, 7] ระบบ PACS (Personal Access Communication Systems) [8] และระบบ PHS (Personal Handyphone System) [9]

### 2.3.1 ระบบ CT2

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

ระบบ CT2 ได้รับการออกแบบมาให้ใช้สภาพสิ่งแวดล้อมที่เป็นบ้านเรือน รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่เป็นอาคารสำนักงาน สำหรับประเทศไทยได้นำระบบ CT2 นี้มาให้บริการโทรศัพท์ที่เรียกว่า “บริการโฟนพอยต์” (Phone-point Services) ซึ่งนิยมใช้กันมากในบริเวณศูนย์การค้าหรือบริเวณที่มีผู้คนหนาแน่น โดยการให้บริการโฟนพอยต์นั้น ผู้ใช้สามารถใช้เครื่องโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัลระบบ CT2 ที่จุดให้บริการโฟนพอยต์สาธารณะ (บริเวณผู้สาธารณะหรือเสาไฟฟ้า) เพื่อเชื่อมต่อเข้าสู่โครงข่ายโทรศัพท์สาธารณะ (PSTN : Public Switched Telephone Network) มีลักษณะการทำงานคล้ายกับโทรศัพท์สาธารณะแบบไร้สาย ระบบ CT2 มีการติดต่อสื่อสารทางเดียว (simplex) ผู้ใช้บริการสามารถทำการเริ่มต้นการเรียกและสนทนาได้ภายในรัศมีพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐานเมื่อผู้ใช้บริการมีการเคลื่อนที่ออกนอกเซลล์ก็จะสูญเสียการเชื่อมต่อทันที นั่นคือ โทรศัพท์ระบบ CT2 นั้นจะไม่มี การข้ามเซลล์หรือการแฮนด์โอเวอร์เกิดขึ้น

โทรศัพท์ไร้สายระบบ CT2 ที่ใช้ในระบบอังกฤษจะเรียกระบบนี้ว่า “รับบิท (Rabbit)” ส่วนในฝรั่งเศสจะเรียกว่า “บิบอป (Bibop)” ซึ่งการให้บริการยังไม่เป็นที่สนใจมากนักแต่จะเป็นที่นิยมใช้ประเทศแถบเอเชีย โดยเฉพาะเมื่อมีการใช้งานร่วมกับระบบเพจเจอร์ ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบทิศทางเดียวเช่นเดียวกับระบบ CT2 ก็สามารถทำการสื่อสารได้แบบสองทิศทางโดยเมื่อมีสัญญาณ

เรียกมายังเครื่องเพจเจอร์ ก็สามารถที่จะใช้โทรศัพท์ CT2 ในการติดต่อกลับไปยังผู้เรียก ซึ่งประเทศที่นิยมใช้ระบบ CT2 ในแถบเอเชียก็ได้แก่ ฮองกง จีน มาเลเซีย และประเทศไทย เป็นต้น

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

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

## ตารางที่ 2.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบ CT2

รายละเอียด	มาตรฐาน
ย่านความถี่	864.15-868.05 MHz
เทคนิคการทำงาน	FDMA
เทคนิคการดูเพล็กซ์	TDD
จำนวนช่องสัญญาณ	40
ระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ	100 kHz
จำนวนช่องสัญญาณต่อคลื่นพาหะ	1
ชนิดของการมอดูเลท	GFSK (BT-3) 2 ระดับ
ความเร็วในการส่งข้อมูล	72 kbps
การเข้ารหัสสัญญาณเสียง	ADPCM ที่อัตรา 32 kbps
กำลังการแผ่กระจายคลื่นสูงสุด	10 mW
การจัดสรรช่องสัญญาณ	ไดนามิก (Dynamic)
ความไวของภาครับสัญญาณ	40 dB
ช่วงเวลาของเฟรม	2 ms
อัตราเร็วของช่องสัญญาณควมคุม (สุทธิ)	100/200 bps
การเข้ารหัสช่องสัญญาณ	CRC

เลขอร์ที่สอง กำหนดการรับรู้ข้อมูลและการตรวจจับข้อผิดพลาด รวมทั้งการรักษาการติดต่อให้คงไว้

เลขอร์ที่สาม กำหนดโปรโตคอลที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างระบบ CT2 กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ โดยมาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศสำหรับระบบ CT2 จะแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

### 2.3.2 ระบบ DECT

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

ระบบ DECT จะสามารถใช้ในการติดต่อสื่อสารในบริเวณที่มีความหนาแน่นของทราฟฟิกการใช้งานสูงโดยระบบ DECT สามารถที่จะให้บริการการสื่อสารได้ทั้งเสียง โทรสาร และข้อมูล ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเนื่องจากระบบ DECT มีลักษณะโครงสร้างตามมาตรฐาน OSI (Open Standard Interconnection) ดังนั้นจึงสามารถใช้บริการร่วมกันกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิทัล และโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์อื่นๆ เช่น ระบบ GSM (Global System for Mobile) หรือระบบ AMPS (Advanced Mobile Phone Service) เป็นต้น แต่เนื่องจากระบบ DECT ใช้กำลังส่งและรับต่ำ ดังนั้นจึงมีพื้นที่ครอบคลุมที่จำกัด โดยจะใช้งานได้ในระยะทางประมาณ 50 ถึง 100 เมตร ภายในตัวอาคาร และระยะทางประมาณ 500 เมตร สำหรับพื้นที่โล่ง

ระบบ DECT จะมีสถาปัตยกรรมตามมาตรฐาน OSI (Open System Interconnection) ในลักษณะเดียวกับโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิทัล (ISDN) โดยมีส่วนควบคุมและส่วนผู้ใช้บริการ จะรับข้อมูลจากเลขอร์ทางกายภาพและเลขอร์ควบคุมการทำงาน (MAC: Medium Access Control layer) ซึ่งระบบ DECT สามารถให้บริการได้ถึง 6,000 ราย โดยไม่จำเป็นที่จะต้องระบุตำแหน่งของผู้ใช้บริการ โดยเลขอร์ของระบบ DECT จะประกอบไปด้วย

เลขอร์ทางกายภาพ (Physical layer) ใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแบบแบ่งความถี่ (FDMA: Frequency Division Multiple Access) เทคนิคการส่งสัญญาณแบบแบ่งเวลา (TDD: Time Division Duplex) และใช้เทคนิคการจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิกใน 1 ไทม์สล็อตของ TDMA จะเลือกใช้ 1 ช่องสัญญาณเพียงช่องเดียวจากจำนวนทั้งหมด 10 ช่อง โดยช่องสัญญาณมีแถบความกว้างเป็น  $1.5 \times 1152$  kbps ซึ่งจะมีค่าความเร็วในการส่งข้อมูลเท่ากับ 1.728 MHz ในระบบ DECT หนึ่งเฟรมประกอบด้วย 24 ไทม์สล็อตและจะแบ่งไทม์สล็อตออกเป็น 2 ส่วนเท่าๆ กัน ส่วนแรกจะใช้ในการส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่วนที่สอง จะ

ใช้ในการส่งสัญญาณจากตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยังสถานีฐาน โดยเฟรมของระบบ DECT จะมีช่วงเวลาเท่ากับ 10 ms โดยหนึ่งไทม์สล็อตจะมีสถานีฐาน โดยเฟรมของระบบ DECT จะมีช่วงเวลาเท่ากับ 10 ms โดยหนึ่งไทม์สล็อตจะมีขนาด 480 บิต ประกอบไปด้วยเป็นบิตซิงค์โครไนส์ 32 บิต บิตข้อมูล 388 บิตและบิตควบคุม 60 บิต

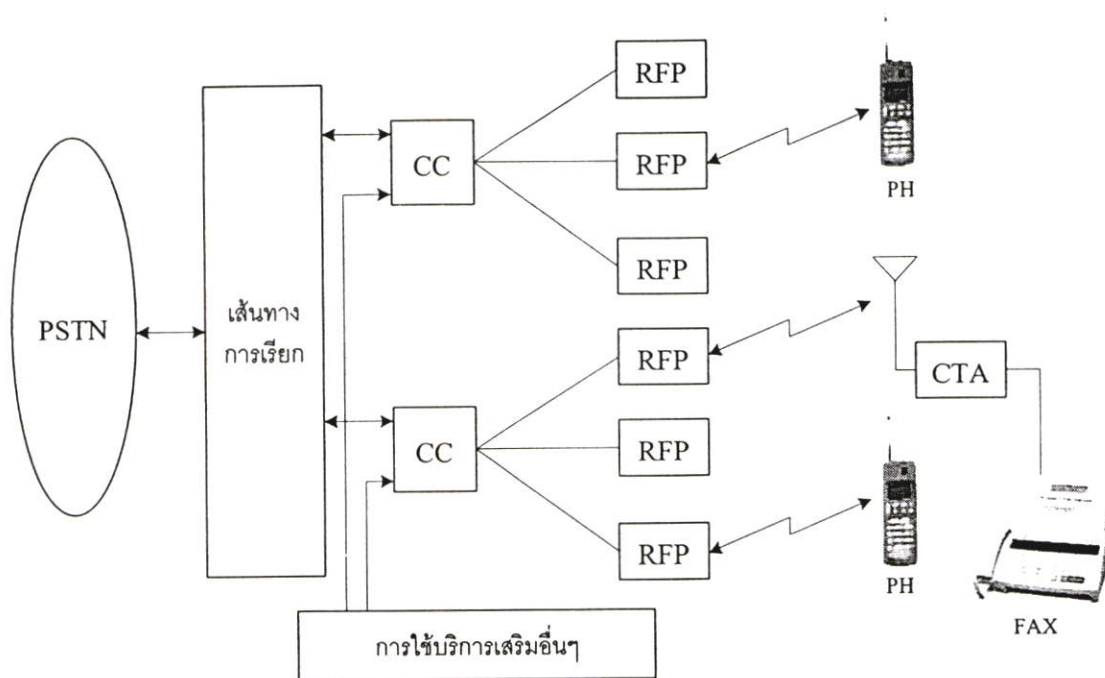
เลเยอร์ควบคุมการทำงาน (MAC: Medium Access Control layer) จะประกอบไปด้วย ช่องสัญญาณเรียก (Paging Channel) และช่องสัญญาณควบคุม (Control channel) สำหรับถ่ายโอนข้อมูลจากสัญญาณไปยังส่วนควบคุมและส่วนผู้ใช้บริการ มีอัตราเร็วของช่องสัญญาณของข้อมูลผู้ใช้บริการอยู่ที่ 32 kbps และมีความเร็ว 64 kbps สำหรับการใช้งานในโครงข่าย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

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

เลเยอร์โครงข่าย (Network layer) เป็นเลเยอร์หลักของระบบสัญญาณในระบบ DECT ทำหน้าที่การควบคุมการเรียก และการบริการสลับวงจรระหว่างชุมสาย

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบ DECT

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



PSTN (Public Switched Telephone network) - โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

PH (Portable Handset) - เครื่องโทรศัพท์พกพา

REP (Radio Fixed Part) - สถานีวิทยุอยู่กับที่

CC (Cordless Controller หรือ Cluster Controller) - อุปกรณ์ควบคุมไร้สาย

CTA (Cordless Terminal Adapter) - อุปกรณ์ควบคุมไร้สาย

### รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบ DECT

โครงสร้างระบบ DECT จะประกอบด้วย เครื่องโทรศัพท์พกพา (PH: Portable Handset) ส่วนของอุปกรณ์อะแดปเตอร์ปลายทางไร้สาย (CTA: Cordless Terminal Adapter) เพื่อใช้สำหรับแฟกซ์ หรือการสื่อสารด้วยภาพเคลื่อนไหว สถานีวิทยุ หรือสถานีฐาน (RFP: Radio Fixed Part) คอนโทรลเลอร์แบบไร้สาย (CC: Cordless controller หรือ Cluster Controller) ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของระบบ และหน่วยอินเตอร์เฟสระหว่างโครงข่าย จะทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อสัญญาณของเครื่องโทรศัพท์ในกรณีที่มีการใช้งานเครื่องโทรศัพท์หลายๆ เครื่อง โดยใช้มาตรฐานการอินเตอร์เฟส CCITT G.732

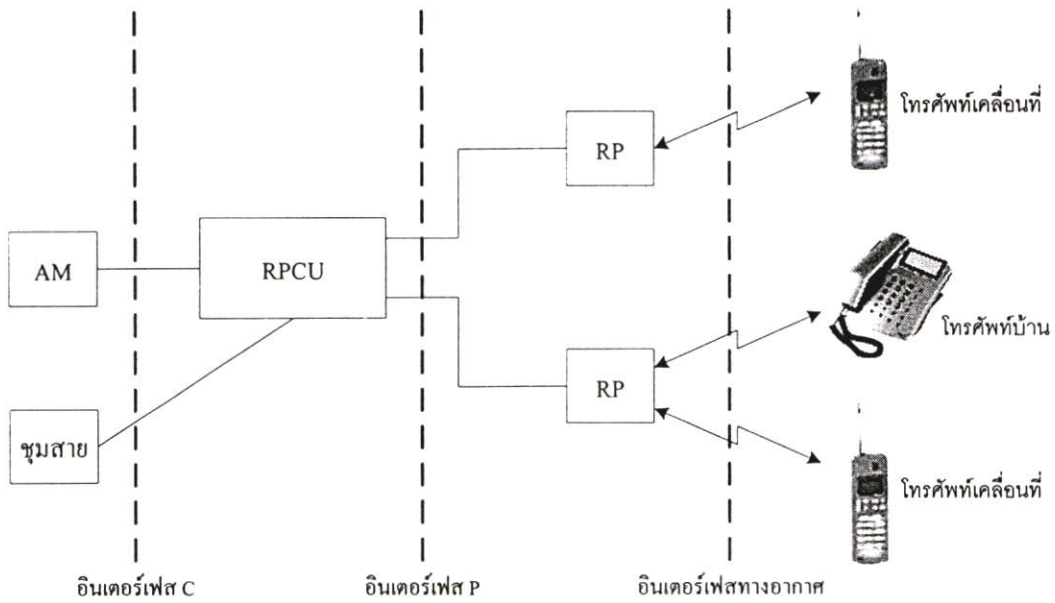
#### 2.3.3 ระบบ PACS

PACS เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลรุ่นที่สามที่พัฒนาขึ้นโดยเบลล์คอร์ ประเทศสหรัฐอเมริกา ในปี 1992 เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ทั้งในระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลและสาธารณะ โดยระบบ PACS จะสามารถให้บริการได้ทั้ง เสียง ข้อมูล และภาพเคลื่อนไหว สำหรับการใช้งานภายในและภายนอกอาคาร

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของระบบ PACS

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

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



AM (Access Manager) - อุปกรณ์การจัดการการเชื่อมต่อ  
 RPCU (Radio Port Control Unit) - อุปกรณ์เรดิโอพอร์ท  
 RP (Radio Port) - เรดิโอพอร์ท

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของระบบ PACS

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของระบบ PACS ซึ่งประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 4 ส่วนด้วยกัน ได้แก่ ตัวเครื่องโทรศัพท์ของผู้ใช้บริการ (SU: Subscriber Unit) ซึ่งสามารถใช้งานในลักษณะของโทรศัพท์บ้าน หรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่วนของเรดิโอพอร์ท (RP: Radio Port) หรือส่วนของสถานีฐาน ซึ่งจะเชื่อมต่อเข้ากับอุปกรณ์ควบคุมเรดิโอพอร์ท (RPCU: Radio Port Control Unit) และส่วนสุดท้ายคือ อุปกรณ์การจัดการเชื่อมต่อ (AM: Access Manager) โดยส่วนของอินเทอร์เฟซ A ซึ่งเป็นอินเทอร์เฟซทางอากาศ จะเป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างส่วนของตัวเครื่องโทรศัพท์กับส่วนของเรดิโอพอร์ท และอินเทอร์เฟซ P จะเป็นมาตรฐาน โปรโตคอลที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างตัวเครื่องโทรศัพท์ผ่านเรดิโอพอร์ทไปยังส่วนของอุปกรณ์ควบคุมเรดิโอพอร์ท นอกจากนี้อินเทอร์เฟซ P จะประกอบด้วยส่วนของช่องสัญญาณปฏิบัติการภายใน (EOC: Embedded Operations Channel) เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ควบคุมเรดิโอพอร์ทกับส่วนของเรดิโอพอร์ทเอง และส่วนของอินเทอร์เฟซ C เป็นมาตรฐานการเชื่อมต่อระหว่างส่วนควบคุมเรดิโอพอร์ทกับชุมสายซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน JTC STD-014

2.3.4 ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นในประเทศญี่ปุ่น โดยศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาแบบคลื่นวิทยุ (R&D Center) และคณะกรรมการการโทรคมนาคม (TCC: Telecommunications Technical Committee) โดยจะมีการติดตั้งสถานีฐานจำนวน 5.5 ล้านเครื่องในปี 1998 และติดตั้งเพิ่มเติมอีกจำนวน 39 ล้านเครื่องในปี 2010

หลักการของการให้บริการในระบบโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคลพีเอชเอส จะประกอบไปด้วยการให้บริการในส่วนของการสื่อสารไร้สายหลายสื่อและมัลติมีเดีย การสื่อสารเคลื่อนที่ การสื่อสารแบบสองทิศทางอย่างสมบูรณ์แบบ และความสามารถในการเข้าถึงโครงข่าย

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

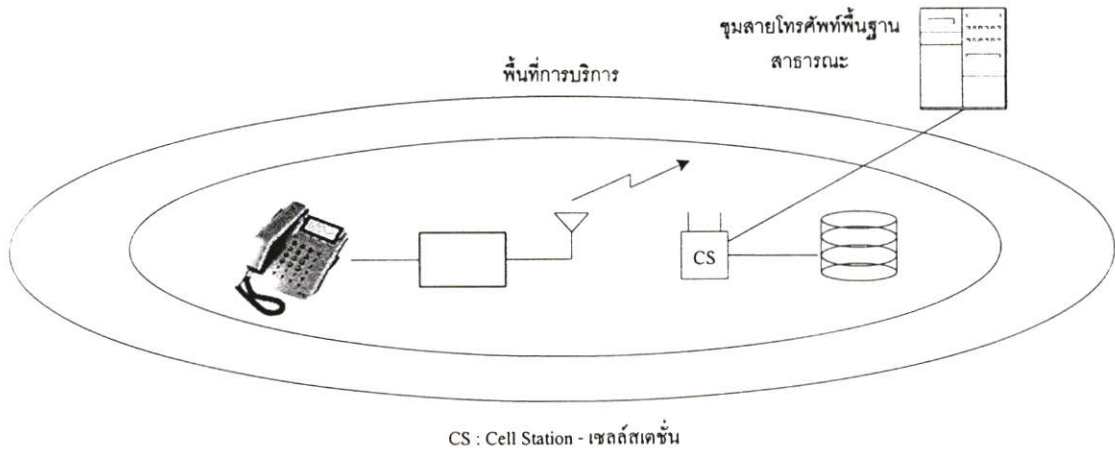
พัฒนาการอันนำมาสู่โครงข่ายโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคลพีเอชเอสนั้น มีวัตถุประสงค์สำคัญ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารให้เข้าสู่ระบบการสื่อสารส่วนบุคคล โดยทำการศึกษา และแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เช่น ระบบเซลลูลาร์ ระบบวิทยุติดตามตัวและระบบโทรศัพท์ไร้สาย

ดังนั้น โครงข่ายโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคลพีเอชเอส ได้ทำการพัฒนาโครงข่าย เพื่อพัฒนาไปสู่การสื่อสารส่วนบุคคล โดยได้มีการนำเทคนิคต่างๆ มาใช้ในการพัฒนาระบบได้แก่ การใช้เทคโนโลยีของเซลล์ขนาดเล็ก (Micro cell structure) การใช้งานบนโครงข่ายเดิมที่มีอยู่ การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุระบบดิจิทัล การจัดสรรช่องสัญญาณแบบไดนามิก และการเข้ารหัสสัญญาณเสียงแบบอะแด็ปทีฟดิฟเฟอเรนซ์เชิงพัลส์โค้ดมอดูเลต (ADPCM: Adaptive Differential Pulse Code Modulation) ที่อัตรา 32 kbps

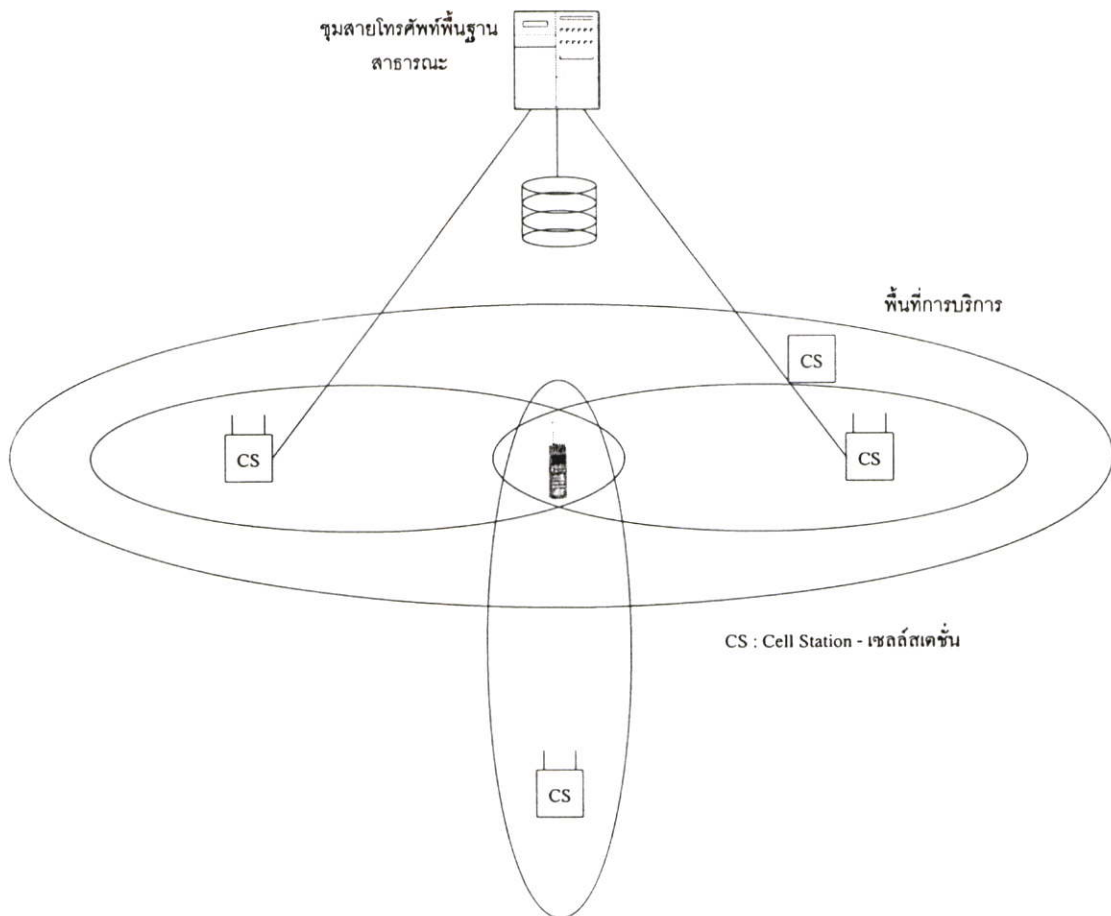
การให้บริการของโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคลพีเอชเอสจะประกอบไปด้วย

#### 2.3.4.1 การให้บริการโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคลพีเอชเอสโดยทั่วไป

การให้บริการโทรศัพท์พหุพาสส่วนบุคคลพีเอชเอสโดยทั่วไป เช่น ใช้เป็นโทรศัพท์อยู่กับที่ซึ่งมีการติดต่อสื่อสารไปสู่โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ โดยการใช้สัญญาณคลื่นวิทยุแทนการใช้สายทองแดง ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ใช้งานร่วมกับชุมสายปลายทางอัตโนมัติในลักษณะเครื่องลูกข่ายแบบไร้สาย ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะโทรศัพท์อยู่กับที่

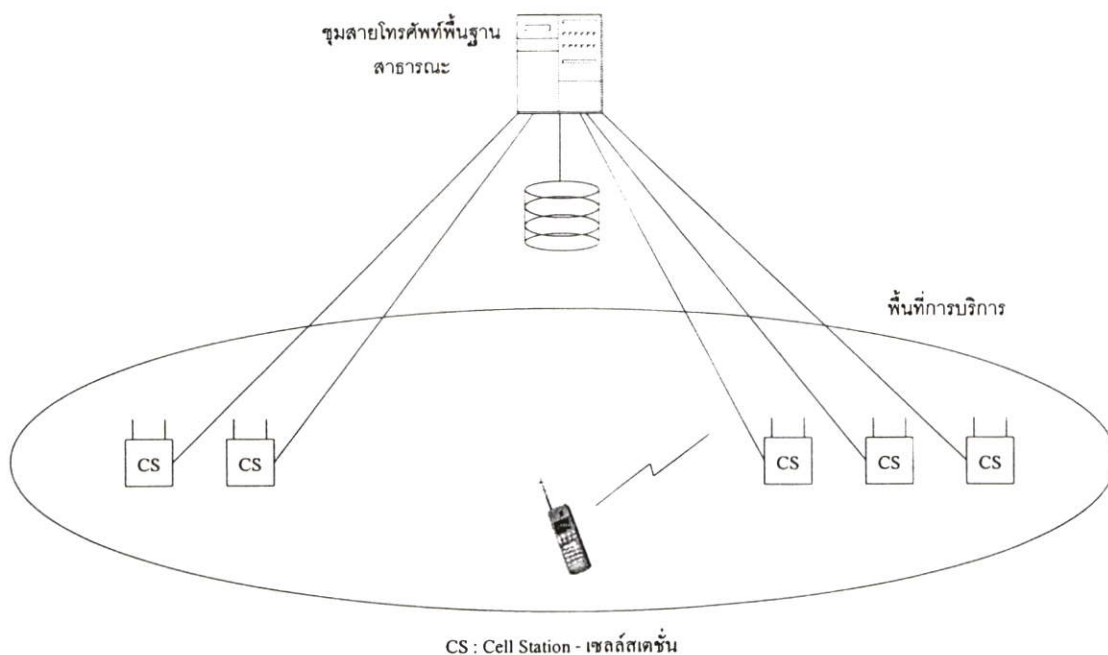


รูปที่ 2.4 การใช้บริการโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลร่วมกับชุมสายปลายทางอัตโนมัติในลักษณะเครื่องลูกข่ายแบบไร้สาย

2.3.4.2 การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะการสื่อสารเคลื่อนที่

โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส สามารถใช้งานภายในบ้านในลักษณะโทรศัพท์ไร้สายร่วมกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะและการทำงานภายนอกอาคารใน

ลักษณะการสื่อสารเคลื่อนที่ โดยจะต้องอยู่ในบริเวณที่เป็นรัศมีครอบคลุมของเซลล์สเตชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5

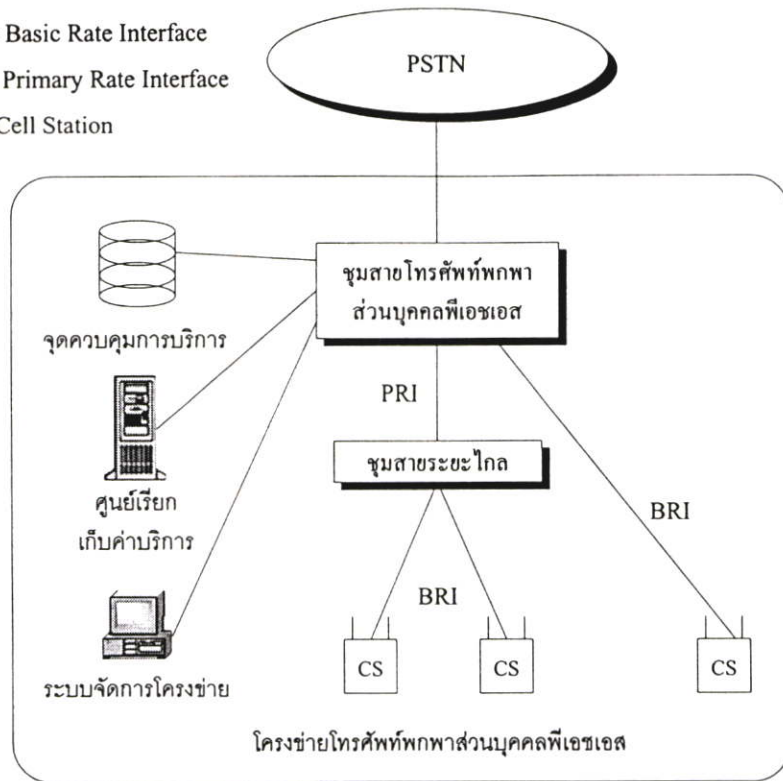


รูปที่ 2.5 การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะการสื่อสารเคลื่อนที่

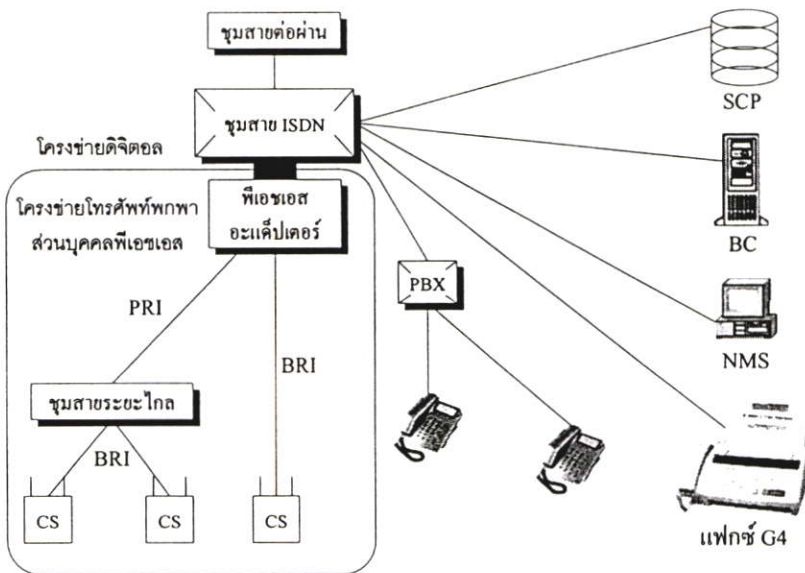
ข้อดีของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ก็คือ โครงข่ายของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสใช้เทคนิคของเซลล์ขนาดเล็กหรือไมโครเซลล์ ดังนั้นส่วนของเซลล์สเตชันและเครื่องลูกข่ายจึงมีขนาดเล็ก อีกประการหนึ่งโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์ดาร์เป็นโครงข่ายอิสระ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากโครงข่ายเดิมที่มีอยู่ จึงจำเป็นที่จะต้องมีการสร้างโครงข่ายขึ้นมาใหม่ ส่วนโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสนั้น เป็นบริการเสริมในส่วนของโครงข่ายเดิมที่มีอยู่ เช่น โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN: Public Switched Telephone Network) หรือโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิทัล (ISDN: Integrated Services Digital Network) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงข่ายที่มีอยู่ รวมทั้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการสร้างโครงข่ายใหม่อีกประการหนึ่งด้วย

โครงข่ายของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส จะใช้วิธีการการวางโครงข่ายร่วมกับโครงข่ายของโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่มีอยู่เดิม ซึ่งจะมีการใช้งานสายส่งสัญญาณและชุมสายร่วมกับโครงข่ายเดิมให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการวางโครงข่ายน้อยที่สุด โดยสถาปัตยกรรมของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส จะแสดงดังรูปที่ 2.6

BRI : Basic Rate Interface  
 PRI : Primary Rate Interface  
 CS : Cell Station



รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายโทรศัพท์ทพทพ ส่วนบุคคลพีเอชเอส

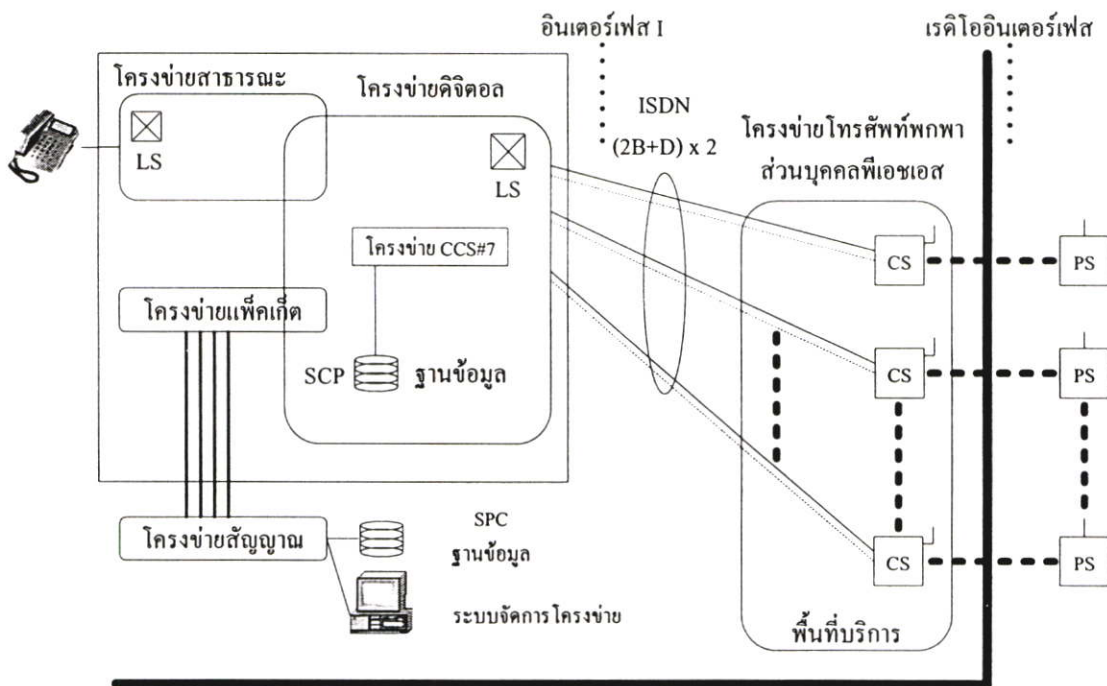


SCP : Service Control Point - จุดควบคุมการบริการ  
 BC : Billing Center - ศูนย์เรียกเก็บค่าบริการ  
 NMS : Network Management System - ระบบจัดการ โครงข่าย  
 PBX : Private Branch Ex change - ชุมสายปลายทางส่วนบุคคล  
 BRI : Basic Rate Interface  
 PRI : Primary Rate Interface

รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์ทพทพ ส่วนบุคคลพีเอชเอสกับโครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิทัล

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

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



CS : Cell Station - เซลล์สเตชัน

PS : Personal Station - โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

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

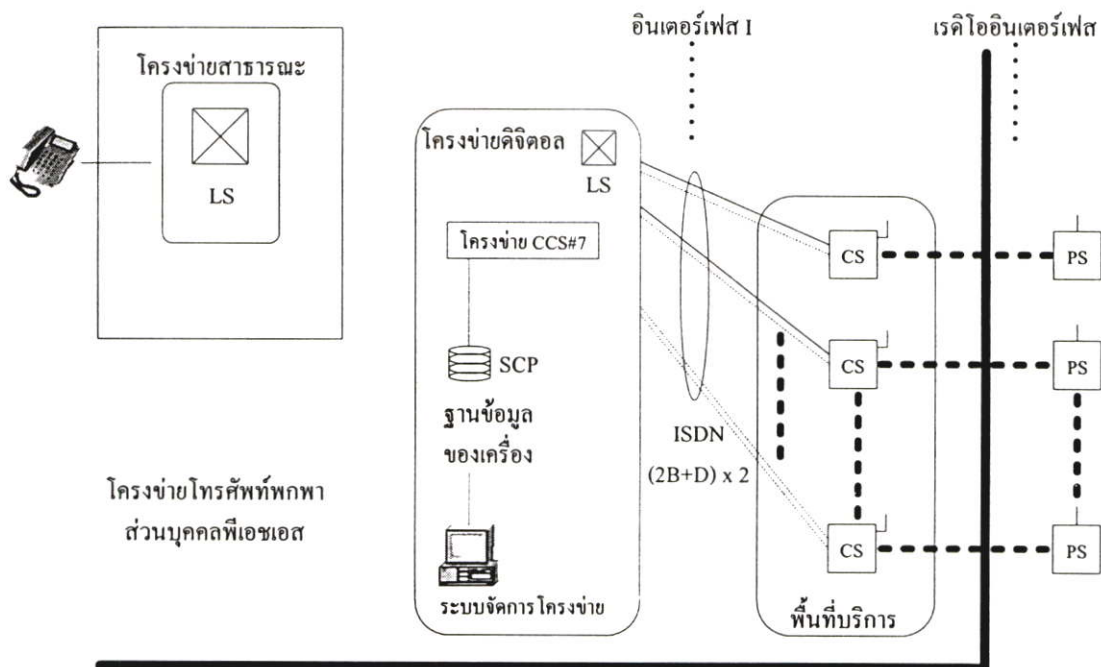
LS : Local Switch - ชุมสายท้องถิ่น

SCP : Signal Control Point - จุดควบคุมการบริการ

รูปที่ 2.8 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสสาธารณะ

โครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสทั้งหมด ประกอบด้วยส่วนของเซลล์สเตชันและโครงข่ายดิจิทัล โดยโครงข่ายดิจิทัลจะใช้เซลล์สเตชันของโครงข่ายโทรศัพท์พกพา

ส่วนบุคคลพีเอชเอส ในการเชื่อมต่อภายในร่วมกับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน ส่วนของโครงข่ายดิจิทัลจะประกอบไปด้วยระบบชุมสาย (Switching System) โครงข่ายของสัญญาณ (Signaling Network) โครงข่ายแพ็คเกจ (Packet Network) จุดควบคุมการบริการ (SCP: Service Control Point) ฟังก์ชันควบคุมการบริการเช่น การระบุตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์ และตรวจสอบความเป็นเจ้าของที่แท้จริงของผู้ใช้บริการ และส่วนประกอบสุดท้ายของโครงข่ายดิจิทัล ก็คือ ระบบบำรุงรักษาโครงข่าย ซึ่งทำหน้าที่ในการจัดการบริหารโครงข่ายทั้งหมด



- CS : Cell Station - เซลล์สเตชัน
- PS : Personal Station - โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส
- CCS#7 : Common Channel Signaling Number 7 - สัญญาณควบคุมร่วมหมายเลข 7
- LS : Local Switch - ชุมสายท้องถิ่น
- SCP : Signal Control Point - จุดควบคุมการบริการ

รูปที่ 2.9 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสอิสระ

### 2.3.4.3 การใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะ WLL

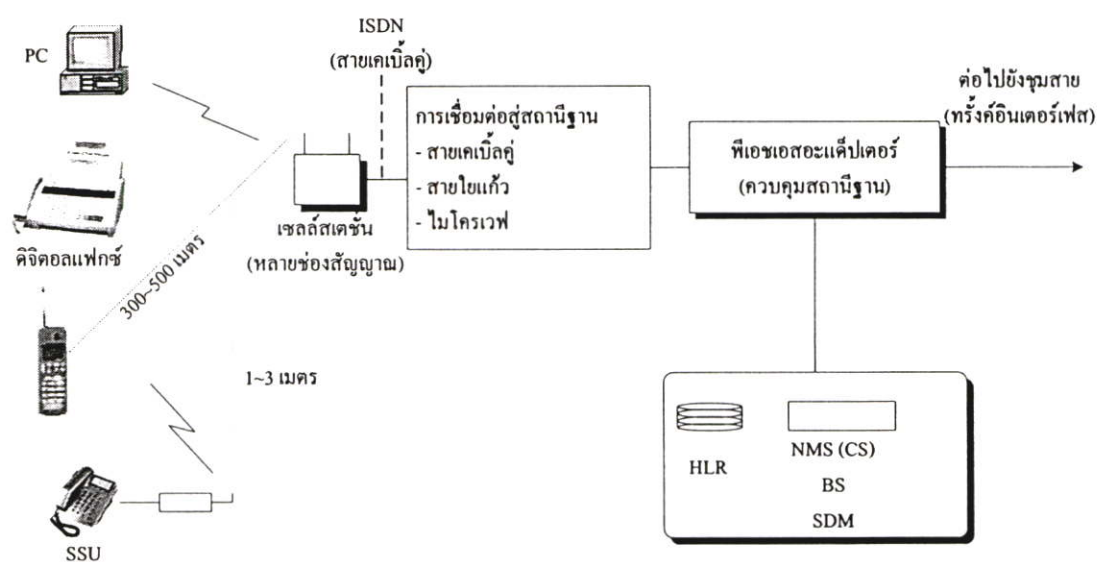
WLL (Wireless Local Loop) เป็นการบริการวงท้องถิ่น (Local Loop) แบบไร้สาย หรือจะเรียกว่า โครงข่ายการเข้าถึงผู้ใช้บริการ (Customer access network) ระหว่างผู้ใช้บริการและชุมสายท้องถิ่น โดยใช้คลื่นวิทยุในการติดต่อระหว่างผู้ใช้บริการและชุมสายท้องถิ่น โดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของการใช้สาย เช่น สายทองแดง สายเคเบิล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

WLL มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ในการติดต่อไปยังพื้นที่ที่ไม่สามารถต่อสายโทรศัพท์เข้าไปได้ โดยการให้บริการ WLL จะสามารถให้บริการได้รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพสูงกว่าการ

ติดตั้งสายโทรศัพท์ นอกจากนี้อัตราค่าบริการยังถูกมาก เมื่อเทียบกับระบบโทรศัพท์แบบไร้สาย โดยการใช้งานโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสในลักษณะ WLL ซึ่งจะเป็นไปตามมาตรฐาน ARIB (Association of Radio and Industries and Businesses)

ในการใช้โครงข่ายพื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ในลักษณะของ WLL จะมีโครงสร้างพื้นฐานของระบบจะประกอบไปด้วย

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



PC : Personal Computer - คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

ISDN : Integrated Services Digital Network - โครงข่ายบริการร่วมระบบดิจิตอล

BRI : Basic Rate Interface

HLR : Home Location Register - รีจิสเตอร์ระบุตำแหน่งสำหรับบ้าน

NMS (CS) : Network Management System - ระบบการจัดการบริหารโครงข่ายสำหรับเซลล์สเตชัน

BC : Billing Center - ศูนย์เรียกเก็บค่าบริการ

SDM : Subscriber Data Management System - ระบบการจัดการบริหารสำหรับเครื่องลูกข่าย

SSU : Single Subscriber Unit

รูปที่ 2.10 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส สำหรับการใช้งานในลักษณะ WLL

โดยในส่วนของระบบบำรุงรักษาโครงข่ายสำหรับเซลล์สเตชัน ศูนย์เรียกเก็บค่าบริการ และระบบการจัดการข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์ จะเป็นบริการเสริมสำหรับผู้ให้บริการโทรศัพท์

พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ซึ่งโครงสร้างของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส ที่มีการใช้งานในลักษณะ WLL จะแสดงในรูปที่ 2.10

#### 2.3.4.4 การประยุกต์ใช้งานภายในตัวอาคาร

โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส สามารถใช้งานร่วมกับชุมสายปลายทางอัตโนมัติ ในลักษณะของเครื่องลูกข่ายแบบไร้สายดิจิทัล ซึ่งระบบโดยรวมจะประกอบไปด้วยเซลล์สเตชันเครื่องลูกข่าย และชุมสายปลายทางอัตโนมัติ โดยจะเป็นไปตามมาตรฐานของ ARIB (Association of Radio and Industries and Businesses) ซึ่งเป็นมาตรฐานการอินเตอร์เฟสระหว่างเซลล์สเตชันและเครื่องลูกข่าย ในส่วนของชุมสายปลายทางอัตโนมัติจะมีการเพิ่มเติมในส่วนของฟังก์ชันการทำงานพิเศษ เพื่อสามารถใช้ติดต่อกับเครื่องลูกข่ายในลักษณะแบบไร้สายได้ ซึ่งข้อดีของการใช้โทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสภายในอาคาร เช่น

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

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

โครงข่ายของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส จะใช้มาตรฐาน JT-Q921-b มาตรฐาน JT-Q931-b และมาตรฐาน JT-Q932-a โดยสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่างสถานีฐานกับเซิร์ฟเวอร์ จะมีรูปแบบเป็นโครงข่ายการให้บริการร่วมระบบดิจิทัล (ISDN: Integrated Service Digital Network) สำหรับเทคนิคในการเข้ารหัสสัญญาณดิจิทัลจะใช้เทคนิคในระบบของการมอดูเลทพัลส์โค้ดแบบปรับตัวได้ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน G.711 และ G.726 ซึ่งมีสาระสำคัญเกี่ยวกับการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ในการทำงานของระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสจะมีช่องสัญญาณในการติดต่อ 4 ช่อง โดยใช้เทคนิคแบบ TDMA-TDD (TDMA: Time Division Multiple Access และ TDD: Time Division Duplex) จึงทำให้มีช่องสัญญาณรับและส่งอย่างละ 4 ช่อง แต่ในการทำงานจะใช้ช่องสัญญาณรับและส่ง 1 ช่องสำหรับเป็นช่องสัญญาณควบคุม จะเป็นได้ว่าสถานีเซลล์ 1 ตัว จะสามารถติดต่อกับเครื่องลูกข่าย ได้ 3 เครื่องในเวลาพร้อมๆ กัน ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการให้บริการในระบบมัลติมีเดีย

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศของโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส

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

## 2.4 การเปรียบเทียบระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลดิจิทัล

ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลแบบต่างๆ คือ ระบบ PHS (Personal Handy phone System) ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone) ระบบ PACS (Personal Advance Cordless System) และระบบ CT-2 (Cordless Telephone version 2) โดยทั้ง 4 ระบบนั้น จะเห็นว่าคุณสมบัติแบ่งแยกออกเป็น 2 กลุ่ม คือสามแบบแรกจะเป็นแบบสื่อสาร 2 ทาง แต่แบบที่ 4 จะเป็นการสื่อสารทางเดียวจึงไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควรและในอนาคตก็คงหมดความนิยมไปในที่สุด ในสามแบบแรกก็ยังมีส่วนที่แตกต่างกันบ้าง เช่นในระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอส และระบบ DECT จะมีวิธีการจัดสรรแถบความถี่แบบไดนามิก (Dynamic assign) ซึ่งเป็นการจัดความถี่โดยอัตโนมัติ กล่าวคือ เมื่อมีการติดตั้งเซลล์ใหม่นี้จะตรวจสอบรอบๆว่ามีการใช้ความถี่ใดไปบ้าง แล้วเลือกความถี่ที่ยังไม่มีการใช้งานมาใช้กับเซลล์ตนเอง วิธีการนี้ทำให้ไม่ต้องกังวลในเรื่องของการใช้ความถี่ใหม่ เช่น ระบบเซลลูลาร์ เป็นต้น ส่วนในระบบ PACS จะเป็นระบบที่มีลักษณะคล้ายกับระบบเซลลูลาร์ คือ มีการจัดสรรความถี่แบบตายตัว ผู้วางโครงข่ายจำเป็นต้องบริหารความถี่ไม่ให้มีการรบกวนเกิดขึ้น

ส่วนเทคนิคการเลือกช่องสัญญาณก็จะแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ แบบที่ 1 ระบบโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีเอชเอสและระบบ DECT จะใช้เทคนิคที่เรียกว่า TDMA-TDD (Time Division Multiple Access – Time Division Duplex) เทคนิคของ TDMA-TDD นี้ช่องการสื่อสารจะ

ใช้ความถี่เดียวทั้งรับและส่ง แต่จะแยกสัญญาณรับและส่งออกจากกันด้วยช่วงเวลา ดังนั้นในระบบนี้จึงประหยัดช่องความถี่มากกว่าระบบอื่นๆ ส่วนอีกแบบหนึ่ง คือ การจัดช่องความถี่ในแบบ TDMA ที่ใช้ในระบบ PACS ที่จะใช้การจัดช่องสัญญาณในแบบช่องความถี่ 2 ช่องพร้อมกันสำหรับช่องความถี่ด้านรับและความถี่ด้านส่ง ในระบบนี้จึงจำเป็นต้องใช้แถบความถี่ 2 แถบ คือ แถบทางด้านส่ง เช่นเดียวกับเซลล์ูลาร์ต่างๆ ไป การใช้ความถี่ในระบบนี้จึงมีประสิทธิภาพดีขยกว่าในระบบแรก

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

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

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล

Parameters	PHS	DECT	PACS	CT-2
ประเทศเจ้าของเทคโนโลยี	ญี่ปุ่น	ยุโรป	อเมริกา	อเมริกา
ย่านความถี่	1,895-1,918 MHz	1,880-1900 MHz	1,850-1,910 MHz (Up) 1,930-1,990 MHz (Down)	864.05-868.05 MHz
ความกว้างของแถบความถี่ที่ใช้งาน	23 MHz	20 MHz	120 MHz	4 MHz
ประสิทธิภาพในการใช้ความถี่	สูง	สูง	ต่ำ	สูง
จำนวนการมอดูเลตเทียกซ์	4 ch/CS (77 Carriers) สำหรับความหนาแน่นประชากรโตๆ (ค่าจึงสูง)	12 ch/CS (10 Carriers) สำหรับความหนาแน่นประชากรสูง	5 ch/CS (200 Carriers) สำหรับความหนาแน่นประชากรค่อนข้างสูง	1 ch, 100 kHz (40 Carriers)
ลักษณะการทำงาน	TDMA/TDD	TDMA/TDD	TDMA/FDD	TDMA/TDD
การเข้ารหัสและการถอดรหัสสัญญาณเสียง	32 kbps ADPCM	32 kbps ADPCM	32 kbps ADPCM	32 kbps ADPCM
เทคนิคการผสมสัญญาณ	$\pi/4$ QPSK	GMSK/GFSK	$\pi/4$ QPSK	GMSK/GFSK
สมรรถนะการใช้ความถี่	300 kHz, 4 ch (75 kHz/ch)	1,728 kHz, 12 ch (144 kHz/ch)	300 kHz x 2, 8 ch (75 kHz/ch)	100 kHz, 1 ch (100 kHz/ch)
ความเร็วในการส่งข้อมูล	384 kbps	1,152 kbps	384 kbps	72 kbps
กำลังงานเอาต์พุตของ CS	500 mW Ave. (4 mW) 200 mW Ave. (160 mW) 100 mW Ave. (80 mW)	10 mW Ave. (250 mW)	100 mW Ave. (800 mW)	5 mW Ave. (10 mW)
กำลังงานเอาต์พุตของ PS	10 mW Ave. (80 mW)	10 mW Ave. (250 mW)	25 mW Ave. (200mW)	5 mW Ave (10 mW)
เฟรม TDMA	5 ms	10 ms	2.5 ms	2 ms
การจัดช่องสัญญาณ	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)	แบบ Fix or QSAFA (แบบกึ่งตายตัวหรือกึ่งอัตโนมัติ)	แบบ Dynamic (จัดความถี่อัตโนมัติ)
รัศมีคลื่นวิทยุ	100-500 เมตร	50-150 เมตร	300-500 เมตร	50-150 เมตร
การเคลื่อนที่	ความเร็วของรถยนต์ในย่านธุรกิจ	ความเร็วในการเดิน	ความเร็วของรถยนต์ในย่านธุรกิจ	อยู่กับที่
รูปแบบการคิดค่า	แบบสองทาง (โทรเข้าและโทรออกได้)	แบบสองทาง (โทรเข้าและโทรออกได้)	แบบสองทาง (โทรเข้าและโทรออกได้)	แบบทางเดียว (เฉพาะโทรออก)
ความสามารถในการขยายแถบความถี่	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)	มีข้อจำกัดในการขยายแถบความถี่ (FDD)	สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ (TDD)
ปีที่วางมาตรฐาน	1993/12	1992/10	1995/4-6	?
ปีที่ให้บริการสาธารณะ	1995/7 ทดลองใช้ที่ - ซันโบโร ในปี 1993 - โตเกียว และฮ่องกงในปี 1994	1996? ทดลองใช้ที่ - สิบแกนส์ นอร์เวย์ในปี 1994	1997? ยังไม่มีการทดลองจริง (1996)	? ใช้ในไทยแล้ว
ผู้ผลิต	Motorola, NEC, Fujitel, Mitsubishi, Panasonic, Oki, Toshiba, ect. (23 ผู้ผลิต)	Phillips*, Ericson*, Siemens*, Nokia*, Acaltel* (*PABX Type) (5 ผู้ผลิต)	Motorola, NEC, Hughes, Panasonic, Hitachi (5 ผู้ผลิต)	Motorola?
การประเมินผล	1. ระบบมีความสมดุค (เหมาะสำหรับใช้ในที่สาธารณะในออฟฟิศหรือใช้ตามบ้าน) 2. สามารถขยายแถบความถี่ออกไปได้ดีมาก 3. ใช้การกำหนดช่องสัญญาณแบบ Dynamic (เลือกความถี่แบบอัตโนมัติ)	1. ส่วนใหญ่ใช้ในออฟฟิศ (เหมาะสำหรับชุมชนอัตโนมัติที่มีการใช้งานมาก) 2. การจัดสรรขนาดให้ผู้ใช้ทำให้ค่า Delay spread นี้นาก	1. มีข้อจำกัดในการขยายช่องสัญญาณวิทยุ (FDD) 2. การจัดช่องสัญญาณถูกกำหนดตามสถานีฐาน (ใช้ในกรณีกำหนดช่องสัญญาณแบบกึ่งอัตโนมัติ)	1. ไม่สะดวกในการใช้งานได้เพราะโทรออกได้ทางเดียว 2. ย่านความถี่ที่ขยายอีกไม่ได้ เพราะใกล้กับระบบขงอกูการ์

## 2.5 ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีทีเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายที่ บริษัท ทศท. คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) และบริษัท โทร คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) (TRUE) ได้ทำการพัฒนาจากระบบ PHS ของประเทศญี่ปุ่น ได้เริ่มให้บริการเชิงพาณิชย์ในประเทศไทยในปี 2540 [2] ในลักษณะบริการเสริมของโทรศัพท์พื้นฐานแบบใช้สายให้สามารถใช้งานโทรศัพท์ไร้สายได้ทุกที่ทุกเวลาที่เรียกว่า “การสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล” ไม่ว่าจะใช้งานที่บ้าน หรือพื้นฐานและเครื่องโทรศัพท์พีซีที ทำให้ไม่พลาดการติดต่อ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานโทรศัพท์ให้สูงขึ้น

### 2.5.1 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

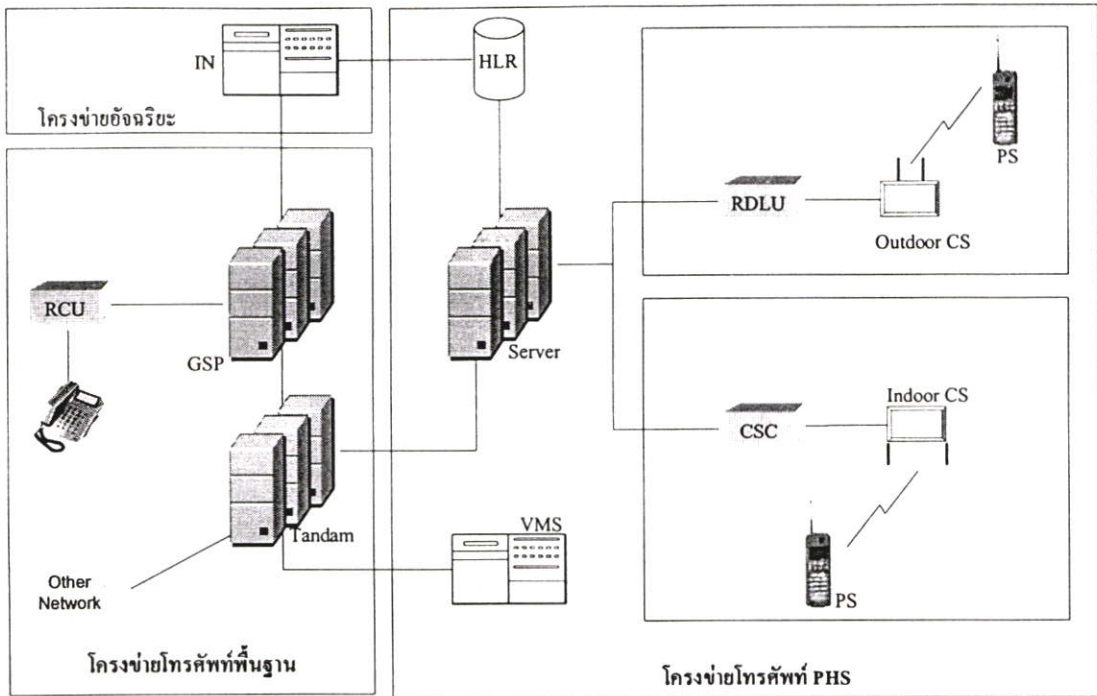
โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที จะเป็นการทำงานร่วมกันของ 3 โครงข่ายดังแสดงในรูปที่ 2.11 ประกอบด้วย โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN) ซึ่งเป็นโครงข่ายพื้นฐานที่มีอยู่เดิม โครงข่ายอัจฉริยะ (Intelligent Network) ที่นำมาใช้จะให้บริการเสริมในรูปแบบของบริการหมายเลขเดียว (One number service) ทำให้เลขหมายของเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีเป็นเลขหมายเดียวกับเครื่องโทรศัพท์พื้นฐาน และโครงข่ายโทรศัพท์ PHS จะเป็นส่วนให้บริการในรูปแบบการสื่อสารไร้สาย ที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณเทอร์สโกลที่ใช้ในการข้ามเซลล์ให้มีขนาดลดลง ทำให้น้ำหนักของการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์กว้างขึ้น

#### 2.5.1.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

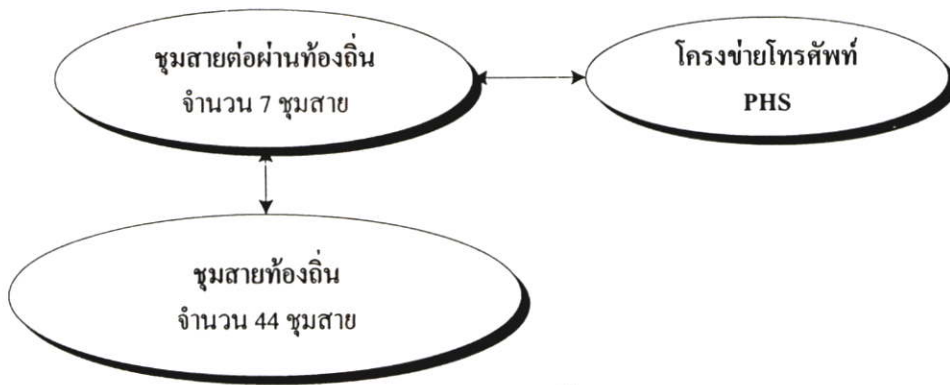
เป็นการใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานเดิมของ บริษัท โทร คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) (TRUE) และบริษัท ทศท. คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ที่มีการให้บริการอยู่แล้ว ดังแสดงในรูป 2.12 ประกอบไปด้วยชุมสายโทรศัพท์ 2 ระดับ คือ

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

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



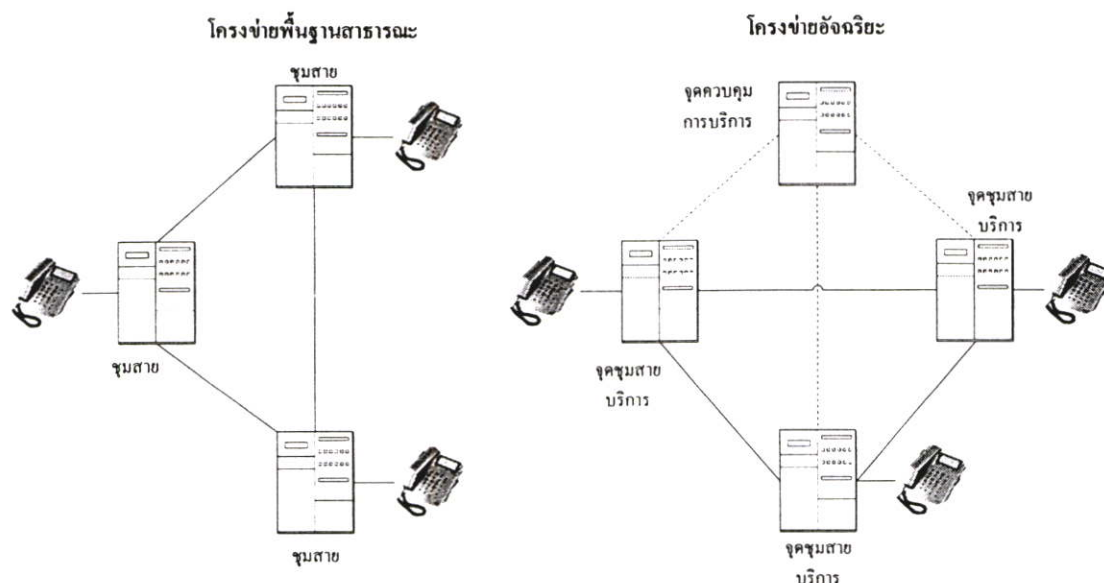
รูปที่ 2.11 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที



รูปที่ 2.12 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

2.5.1.2 โครงข่ายอัจฉริยะ

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

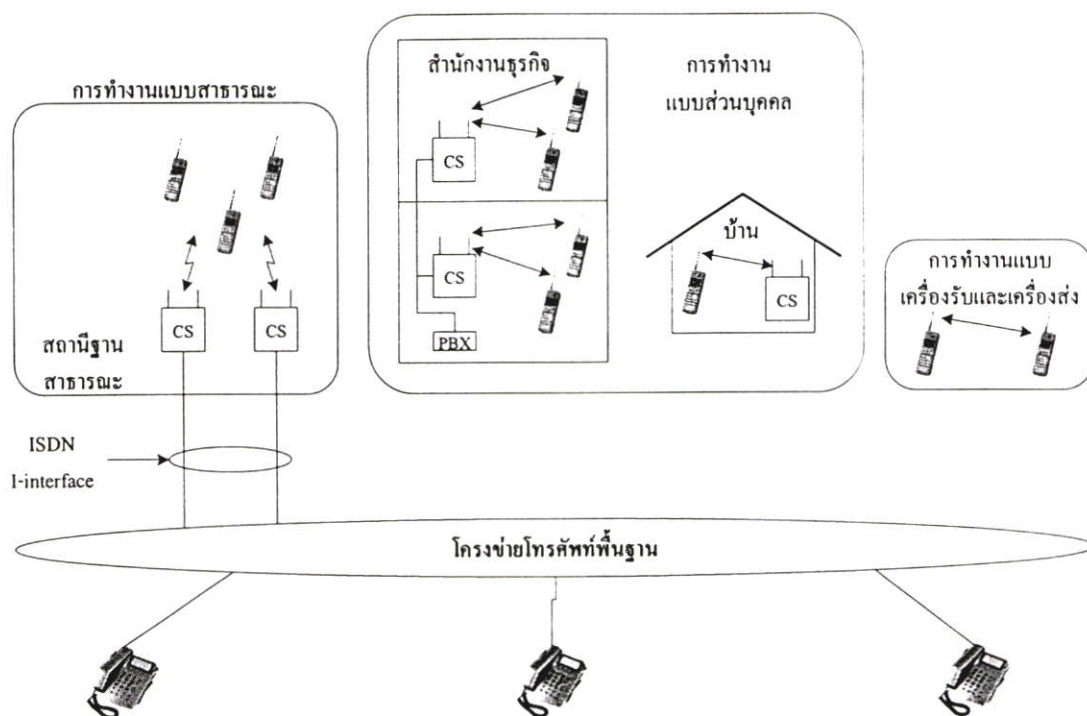


รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะธรรมดา กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่ทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะ

โดยโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่มีการทำงานและไม่มีการทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะแสดงดังรูปที่ 2.13 ถ้าผู้เรียกต้องการใช้บริการของโครงข่ายอัจฉริยะ จุดชุมสายบริการก็ส่งเลขหมายไปที่จุดควบคุมการบริการ ซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ของโครงข่ายอัจฉริยะที่แยกออกจากจากระบบชุมสาย โดยจุดควบคุมการบริการจะทำหน้าที่เลือกเส้นทางและหาตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์ จากนั้นจะสั่งให้อุปกรณ์ชุมสายทำการสร้างเส้นทางในการเรียกไปยังปลายทางที่ต้องการต่อไป

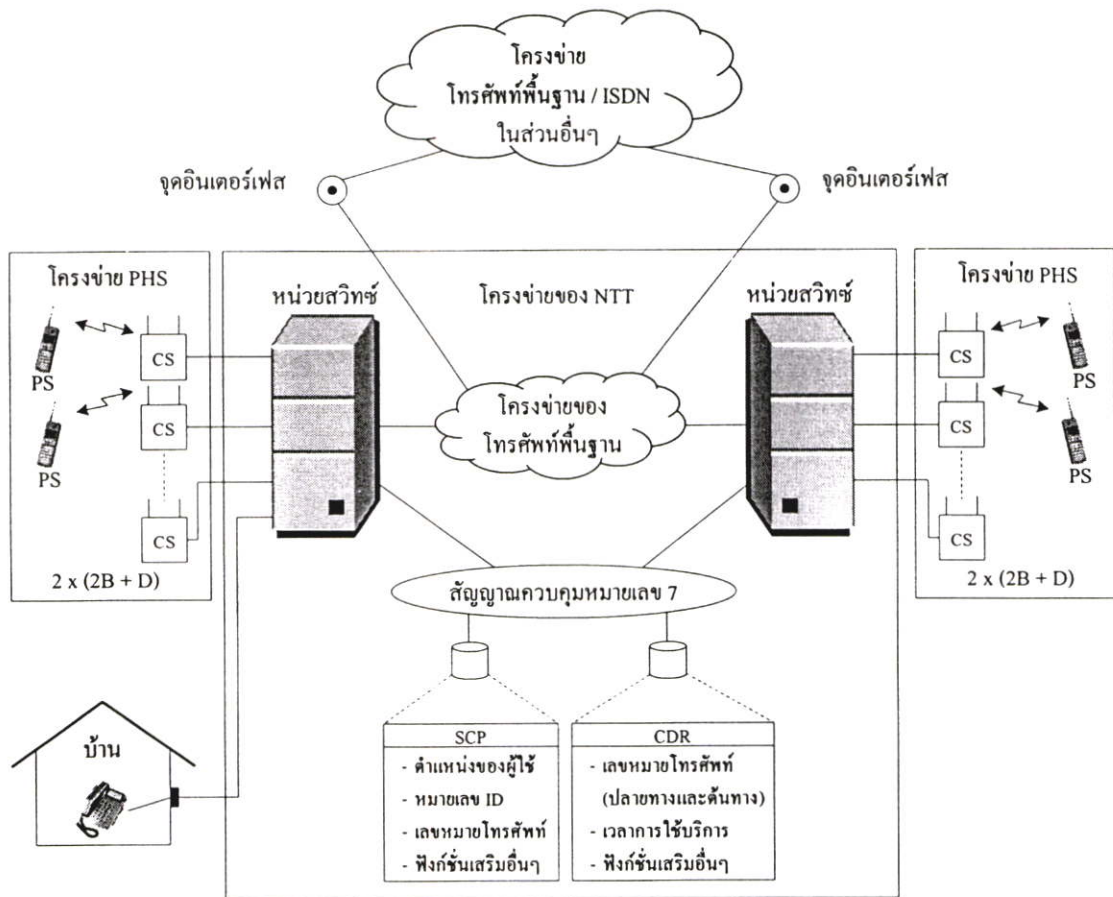
### 2.5.1.3 โครงข่ายโทรศัพท์ PHS

เป็นโครงข่ายระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลที่สามารถใช้ได้ทั้งที่บ้าน ที่ทำงานเขตพื้นที่ชุมชน ย่านธุรกิจ และพื้นที่สาธารณะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.14 ในระบบโทรศัพท์ PHS สถานีฐานจะเรียกว่า สถานีเซลล์ หรือเซลล์สเตชัน (CS: Cell Station) [10] และสถานีเคลื่อนที่ (PS Personal Station) จะเรียกว่า เครื่องโทรศัพท์ PHS โดยเซลล์จะมีขนาดเล็กในระดับมินิเซลล์ มีรัศมีการให้บริการเพียง 100-300 เมตร เท่านั้น โดยทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มความจุของระบบ และเป็นการประหยัดพลังงานเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่เครื่องโทรศัพท์ PHS ทั้งยังเป็นการลดราคาของสถานีเซลล์ลง



รูปที่ 2.14 ลักษณะการบริการของโทรศัพท์ PHS

จากรูปที่ 2.14 ลักษณะการทำงานของระบบโทรศัพท์ PHS จะมีการใช้งานแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ลักษณะแรกเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัลที่สามารถใช้งานแบบโทรศัพท์ไร้สายได้ทั้งที่บ้านและที่ทำงาน ซึ่งการใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่า การใช้งานในโหมดส่วนตัว (Private Model) เครื่องโทรศัพท์ PHS จะทำงานติดต่อกับ Home Base Unit แบบโทรศัพท์ไร้สายขด (Cordless Telephone) หรือใช้งานลักษณะ Wireless PABX ร่วมกับชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติในสำนักงานที่เชื่อมต่ออยู่กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ เมื่อมีการใช้งานเครื่องโทรศัพท์ PHS ภายนอกบ้าน หรือนอกสำนักงาน เครื่องโทรศัพท์ PHS ก็จะทำการติดต่อสื่อสารกับสถานีเซลล์ที่ตั้งในพื้นที่สาธารณะ การใช้งานในลักษณะที่สองที่เรียกว่าแบบโหมดสาธารณะ (Public Mode) โดยเมื่อผู้ใช้บริการต้องใช้งานในโหมดสาธารณะ ก็จะทำการกดหมายเลขไปยังเครื่องโทรศัพท์ PHS ซึ่งในแต่ละเครื่องจะประกอบไปด้วยหมายเลขของผู้ให้บริการจำนวน 10 หมายเลข โดยในแต่ละสถานีเซลล์จะมีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์ ISDN (Integrated Services Digital Network) [11] นอกจากนี้เครื่องโทรศัพท์ PHS ยังสามารถทำการติดต่อสื่อสารโดยตรงระหว่างเครื่องโทรศัพท์ PHS ด้วยกันได้ การใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่าแบบโหมดรับ-ส่ง (Transceiver Mode) สำหรับการใช้งานในโหมดนี้จะสามารถใช้งานได้ก็ต่อเมื่อเครื่องโทรศัพท์ PHS อยู่บริเวณใกล้ๆ กันในลักษณะอินเตอร์คอม สำหรับการเลือกใช้งานในแต่ละหมวดนั้นผู้ใช้บริการสามารถเลือกใช้งานได้



รูปที่ 2.15 โครงข่ายระบบโทรศัพท์ PHS

### 1) โครงสร้างโครงข่ายโทรศัพท์ PHS

เป็นโครงข่ายที่มีการใช้งานร่วมกับระบบโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 โดยให้ผู้บริการโครงข่าย จะจัดการเชื่อมต่อระหว่างสถานีเซลล์กับสถานีเครื่องโทรศัพท์ PHS และจัดการฐานข้อมูลของผู้ใช้บริการ สำหรับเซลล์ในพื้นที่ต่างๆ จะถูกเชื่อมต่อกับชุมสายท้องถิ่น โดยมีการเชื่อมต่อแบบ I-interface [12] ตามมาตรฐานของโครงข่าย ISDN

ลักษณะของช่องสัญญาณทางฟิสิกคอลจะทำการส่งข้อมูลโดยใช้ช่องสัญญาณ B ในแต่ละสถานีเซลล์จะสามารถรองรับได้ 4 ช่องสัญญาณ ใช้คู่สาย ISDN ที่มีการเชื่อมต่อแบบ BRI (Basic rate Interface) 2 คู่สายเชื่อมต่อสถานีเซลล์กับชุมสายท้องถิ่น สำหรับข้อมูลต่างๆ ของผู้ใช้บริการ เช่น การดูแลการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของผู้ใช้บริการ โดยหมายเลขของผู้ใช้บริการจะถูกเก็บไว้ในส่วนควบคุมการให้บริการ (SCP: Service Control Point) และการบันทึกข้อมูลการเรียกของผู้ใช้บริการ (CDR: Call Detail Record) ข้อมูลหมายเลขโทรศัพท์ที่ทำการเรียก [9, 13] หมายเลขโทรศัพท์ที่ถูกเรียก และเวลาในการสนทนา จะใช้การเชื่อมต่อแบบ SS7 (Signaling System No.7) [14]

## 2) การใช้งานแถบความถี่ในระบบโทรศัพท์ PHS

ช่องสัญญาณจะแบ่งออกเป็น 77 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณกว้างช่องละ 300 kHz โดยจะใช้งานในช่วงความถี่ 1895.15 – 1917.95 MHz (ความกว้างของความถี่ 22.8 MHz) สำหรับรายละเอียดความถี่และลักษณะการใช้งานในแต่ละช่องสัญญาณแสดงดังตารางที่ 2.6 [15]

### 2.5.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

#### 2.5.2.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อ

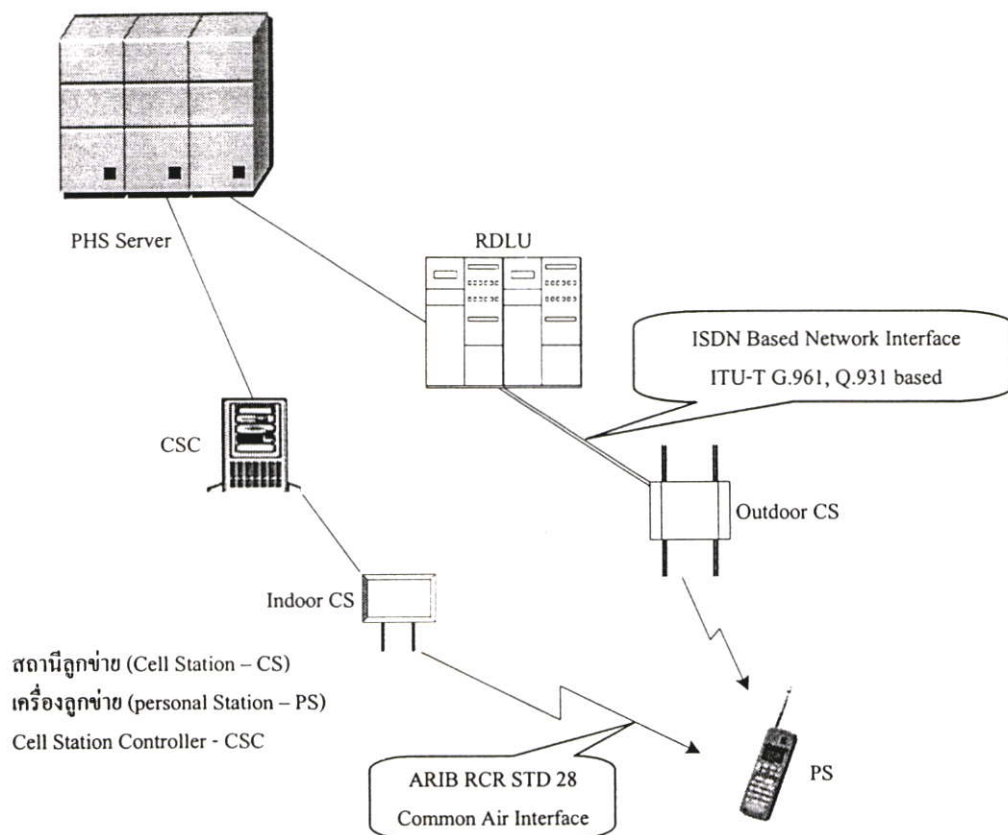
การเชื่อมโยงระหว่างสถานีเซลล์กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที (Network Interface) จะใช้มาตรฐาน JT – Q921, JT –Q931-b, JT –Q1218-a, JT –Q932-a, JT -1460, JT -1430 และ JT -1961 [12] ของ TTC (Telecommunications Technology Committee) และสำหรับมาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศ (Air Interface) จะใช้มาตรฐาน RCR STD 28 V.3.2 ของ ARIB (The Association of Ratio Industries and Businesses) [15] ซึ่งตามข้อกำหนด โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.16 สัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่างสถานีเซลล์ (CS) กับเซิร์ฟเวอร์ จะมีอัตราเร็ว 32 kbps มีการเข้ารหัสแบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulator) [16] ส่วนสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่าง PCT Switch จะใช้อัตราเร็ว 384 kbps

#### 2.5.2.2 ความถี่ใช้งาน

ความถี่ที่ใช้สำหรับโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะเหมือนกับระบบโทรศัพท์ PHS ดังแสดงในตารางที่ 2.6 ซึ่งจะแบ่งความถี่ออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มของความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล ได้แก่ การใช้งานลักษณะอินเตอร์คอมในโหมดรับ-ส่ง เป็นการสื่อสารระหว่างเครื่องโทรศัพท์พีซีทีด้วยกัน โดยไม่มีสถานีเซลล์เข้ามาเกี่ยวข้อง จะใช้ความถี่ช่องที่ 1-10 สำหรับการใช้งานส่วนบุคคลภายในสำนักงานหรือที่อยู่อาศัยต่างๆ ในรูปแบบของ Wireless PABX จะใช้งานความถี่ช่องที่ 11-37 โดยมีช่องสัญญาณในช่องที่ 12, 18 เป็นช่องสัญญาณควบคุม และอีกกลุ่มหนึ่งเป็นความถี่ที่ใช้สำหรับติดต่อสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ ซึ่งจะใช้ความถี่ช่องที่ 38-69 โดยมีช่องสัญญาณในช่องที่ 70-77 เป็นช่องสัญญาณควบคุมโดยโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีที่ใช้ในประเทศไทย จะใช้สัญญาณควบคุมช่องที่ 75

ตารางที่ 2.6 การใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์ PHS

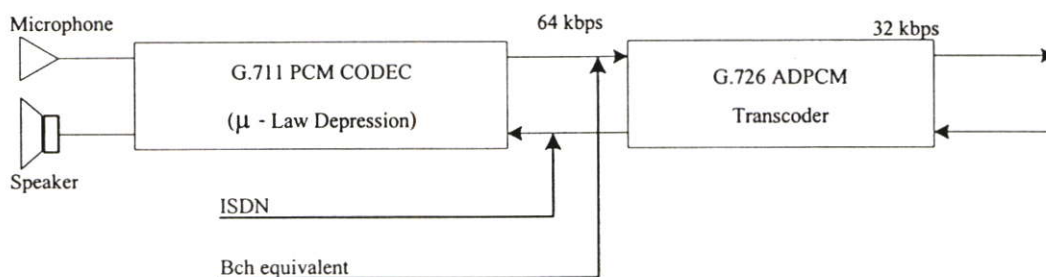
ช่องสัญญาณที่	ความถี่ (MHz)	ลักษณะการใช้งาน
1	1895.150	ใช้งานในลักษณะเป็นเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ (Transceiver mode: PS PS) และใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
-	-	
10	1897.850	
11	1898.150	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private model)
12	1898.450	เป็นช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล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



รูปที่ 2.16 การเชื่อมต่อระหว่าง PS กับ CS และ CS กับ PHS Server

### 2.5.2.3 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงและการมอดิเฟอ์็กซ์ช่องสัญญาณ

การเข้ารหัสสัญญาณเสียงของระบบ จะใช้วิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ ADPCM ตามมาตรฐาน G.711 และ G.726 ของ ITU-T [17] ซึ่งมีรายละเอียดดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.17

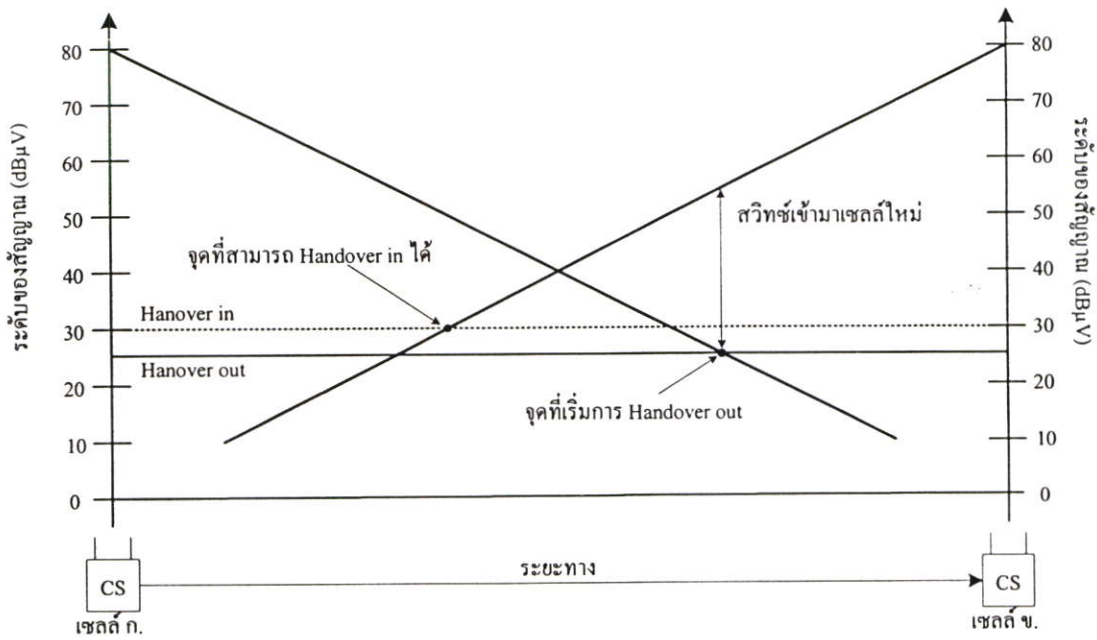


รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด

จากรูป 2.18 แสดงการจัดช่องสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพาส่วนบุคคลพีซีที ใน 1 ช่องสัญญาณในการติดต่อจะแบ่งเป็น 8 ช่วงเวลา (Time Slot) โดยการใช้เทคนิคแบบ TDMA/TDD (Time Division Multiple Access/Time Division Duplex) แบ่งเป็นสำหรับการส่งจะมี 4 ช่วงเวลา และรับ 4 ช่วงเวลา (มีช่องสัญญาณควบคุมรับ-ส่งอย่างละ 1 ช่อง) ในการติดต่อสื่อสาร



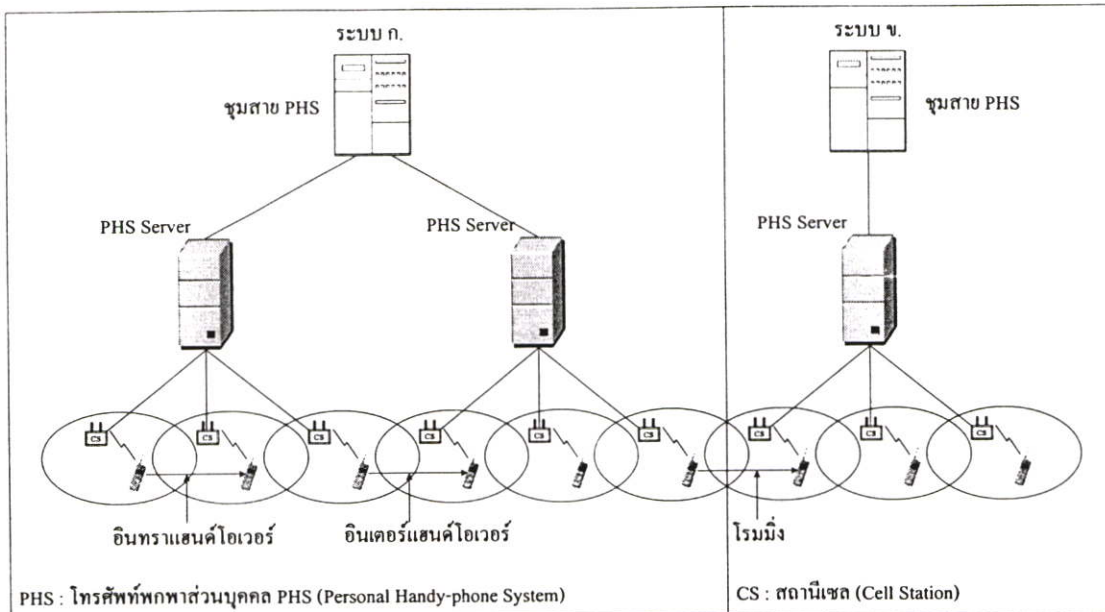
พีซีที ก็จะทำกรยกเลิกการสื่อสารในเซลล์เดิมและเปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณในเซลล์ใหม่เพื่อทำการสื่อสารต่อไป ดังแสดงรูปที่ 2.19 สำหรับช่วงเวลาที่มีการข้ามเซลล์นี้ เครื่องโทรศัพท์พีซีทีจะส่งสัญญาณควบคุมไปติดต่อกับในเซลล์ใหม่ โดยไม่สนใจการติดต่อสื่อสารในช่วงนั้น จะส่งผลให้ผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์พีซีทีในช่วงเวลาที่มีการข้ามเซลล์ จะไม่ได้ยินเสียงการสนทนาหรือสัญญาณขาดหาย (Muting time) เป็นเวลาประมาณ 2-3 วินาที สำหรับการใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีทีเมื่อมีการเคลื่อนที่สามารถใช้งานได้ที่ความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 2.19 ระดับของสัญญาณที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ข้ามเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง

การแฮนด์โอเวอร์จะแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบที่ 1 เรียกว่า อินทราแฮนด์โอเวอร์จะเป็นการข้ามเซลล์ของโทรศัพท์พีซีทีในกลุ่มที่ต่อกับ PCT Server เดียวกัน แบบที่ 2 เรียกว่า อินเตอร์แฮนด์โอเวอร์ จะเป็นการข้ามเซลล์ของโทรศัพท์พีซีทีที่อยู่ต่าง PCT Server กันและในแบบที่ 3 เรียกว่า การโรมมิ่ง (Roaming) จะเป็นการข้ามเซลล์ของโทรศัพท์พีซีทีที่มีโครงข่ายผู้ให้บริการต่างกัน [9, 13] ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ในการข้ามเซลล์ด้วยวิธีการแฮนด์โอเวอร์แต่ละแบบนี้จะใช้เวลาไม่เท่ากัน โดยสังเกตได้จากการเกิดการขาดหายของสัญญาณเสียง ขณะที่ส่งสัญญาณควบคุมในการข้ามเซลล์จะประมาณ 2 วินาที สำหรับอินทราแฮนด์โอเวอร์ 3 วินาที สำหรับแบบอินเตอร์แฮนด์โอเวอร์ และ 4 วินาที สำหรับการโรมมิ่ง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวางรูปแบบของเซลล์ให้มีการข้ามเซลล์อยู่ในกลุ่มของ PCT Server เดียวกัน เพื่อลดเวลาในการขาดหายของสัญญาณเสียงให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ สำหรับการข้ามเซลล์ด้วยการใช้เทคนิคการแฮนด์โอเวอร์นั้นจะใช้

ระดับของสัญญาณเป็นตัวกำหนด โดยระดับของสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์พีซีทีจะทำการข้ามเซลล์ เราเรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์เอาท์ (Handover out: 25 dB $\mu$ V) ดังแสดงในรูปที่ 2.19

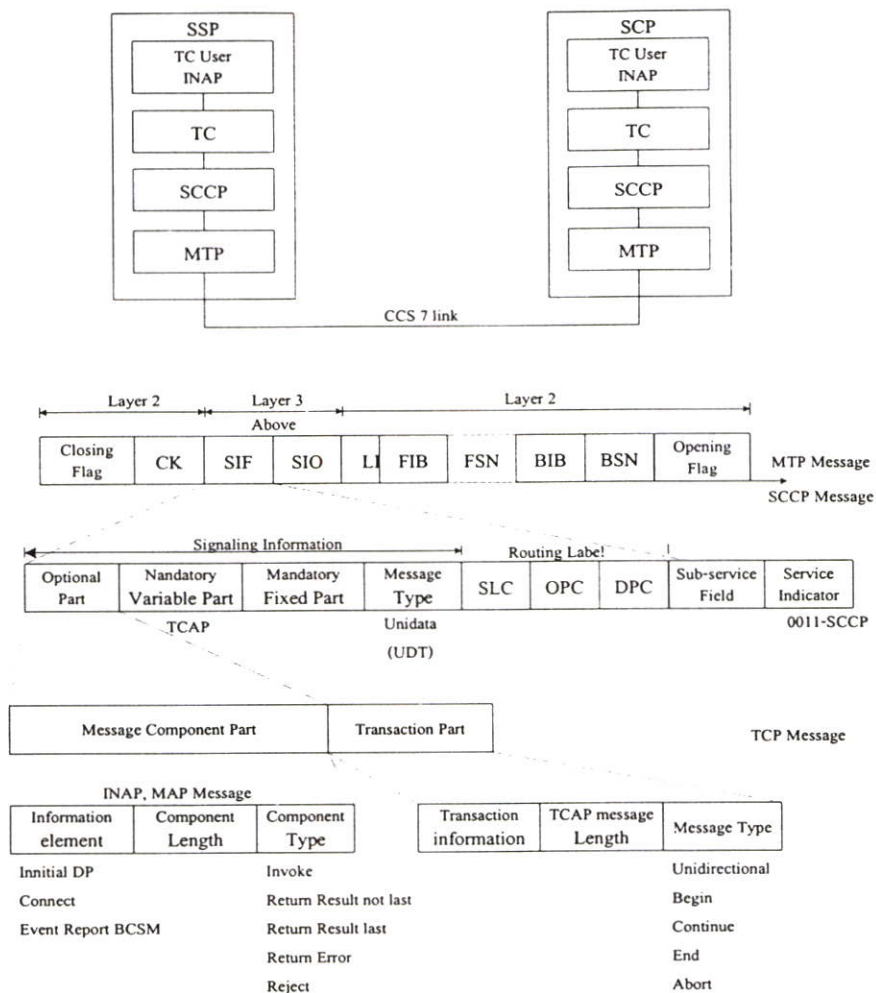


รูปที่ 2.20 การแฮนด์โอเวอร์ทั้ง 3 แบบ ในระบบโทรศัพท์พีซีที

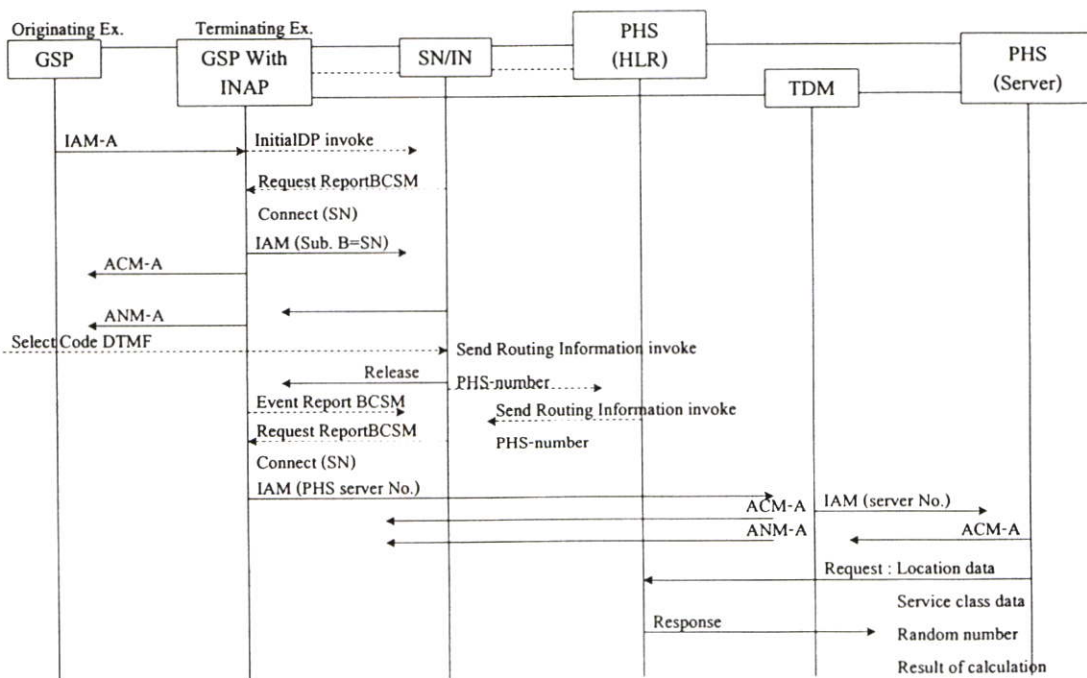
#### 2.5.2.6 ระบบโพรโตคอลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

โพรโตคอลที่ใช้สำหรับการติดต่อระหว่างชุมสาย (SSP: Service Switching Point) [14] กับส่วนของการควบคุมการให้บริการ (SCP: Service Control Point) [14] นั้น จะใช้ฟังก์ชันของการทำงานในระบบการควบคุมสัญญาณหมายเลข 7 (CCS No.7) โดยระดับของโพรโตคอลและเฟรมของสัญญาณควบคุมจะแสดงดังรูปที่ 2.21 สำหรับลำดับขั้นของการติดต่อสื่อสารจะแสดงดังในรูปที่ 2.22

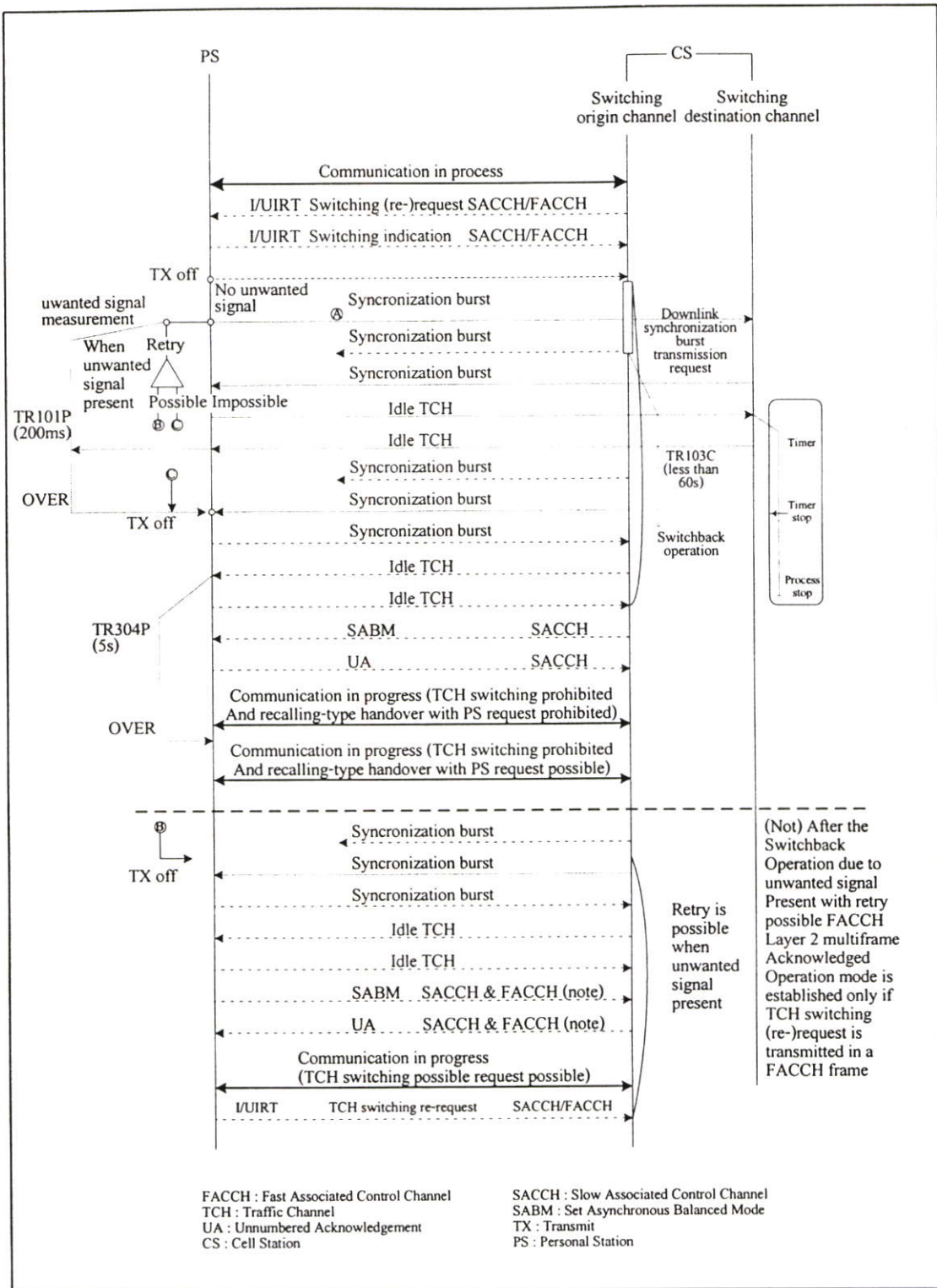
โพรโตคอลที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะแสดงดังรูปที่ 2.23 และรูปที่ 2.24 โดยรูปที่ 2.23 แสดงโพรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง ในรูปที่ 2.24 จะเป็นกรณีที่ไม่สามารถทำการแฮนด์โอเวอร์ได้สำเร็จตามขั้นตอนในรูปที่ 2.23 เครื่องโทรศัพท์พีซีทีให้พยายามกับไปใช้งานช่องสัญญาณที่เซลล์เดิม โดยในการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องโทรศัพท์พีซีทีและเซลล์สแตชันนั้น จะเป็นไปตามมาตรฐาน Air-Interface RCR-28



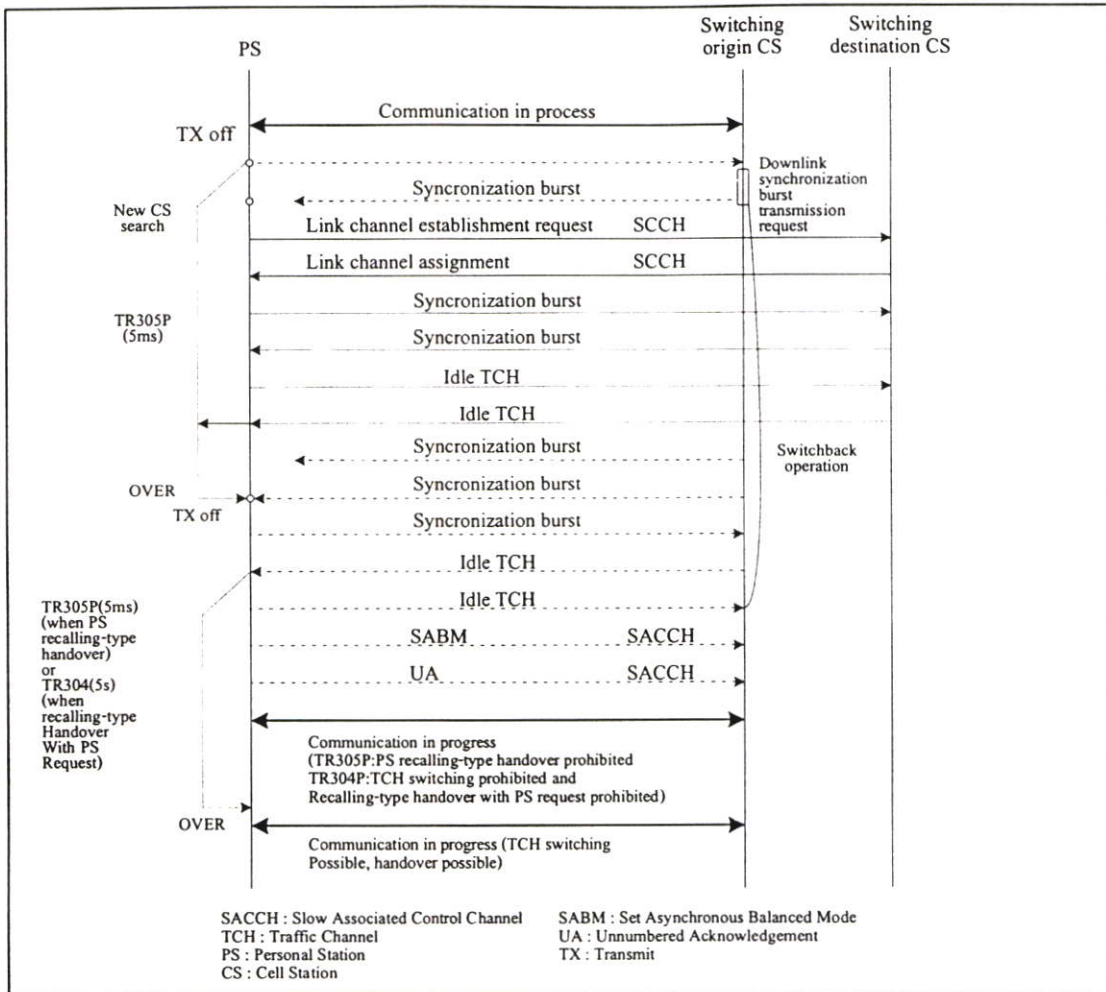
รูปที่ 2.21 โพรโทคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดของสัญญาณควบคุม



รูปที่ 2.22 ลำดับการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล



รูปที่ 2.23 โพรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง



รูปที่ 2.24 โพรโตคอลของการกลับมาใช้เซลล์เดิมเมื่อต้องการแฮนด์โอเวอร์ไม่สำเร็จ

### 2.5.2.7 รายละเอียดของสถานีเซลล์เครื่องโทรศัพท์พีซีที

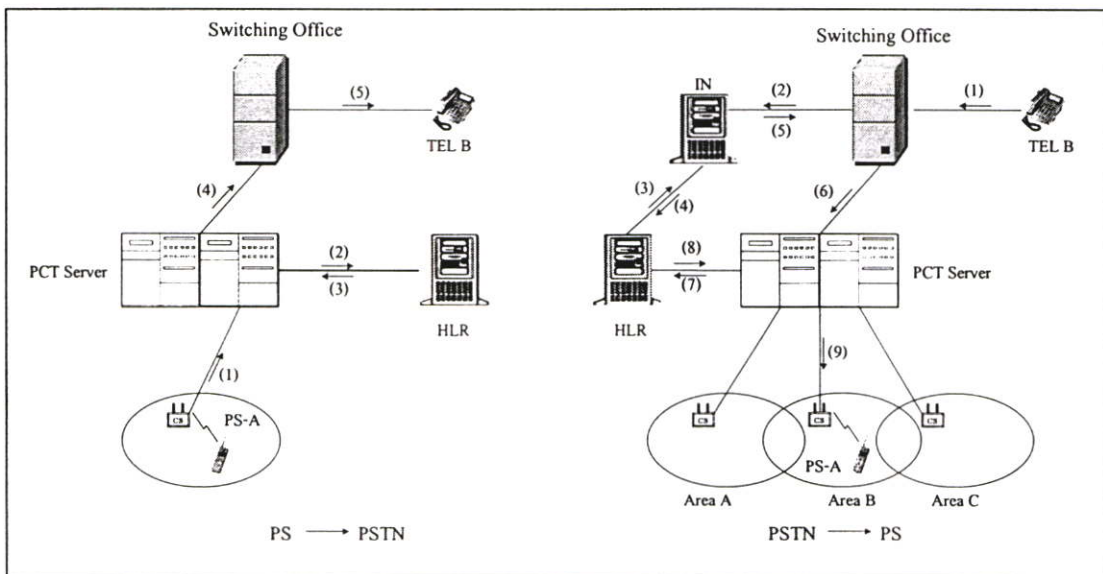
สถานีเซลล์ที่จะนำมาใช้จะมีอยู่ 2 ชนิด คือ ชนิดติดตั้งภายในตัวอาคาร โดยจะมีกำลังส่ง 10 มิลลิวัตต์ และชนิดติดตั้งนอกอาคารมีกำลังส่งขนาด 20 มิลลิวัตต์ 200 มิลลิวัตต์และ 500 มิลลิวัตต์ สำหรับลักษณะของเครื่องโทรศัพท์พีซีทีจะมีลักษณะคล้ายกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั่วๆ ไป จะมีขนาดเล็กกว่าเนื่องจากใช้ความถี่ในย่านสูงกว่าปกติ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

### 2.5.2.8 สายอากาศของเซลล์สเตชันระบบโทรศัพท์พื้นฐานส่วนบุคคล PCT

สายอากาศของเซลล์สเตชันที่ติดตั้งในงาน จะใช้สายอากาศที่มีค่าอัตราขยายต่างกัน คือขนาด 2 dBi สำหรับเซลล์ขนาด 10 มิลลิวัตต์ 4 dBi, 7 dBi, 9 dBi และ 13 dBi สำหรับเซลล์ขนาด 20, 200 และ 500 มิลลิวัตต์ โดยสายอากาศที่มีค่าอัตราขยายสูง จะสามารถกระจายคลื่นในแนวนอนได้ดี ถึงแม้ว่าในแนวตั้งจะมีปัญหาบ้างเพราะมีไซดัลโลบมาก ซึ่งจะเป็นผลให้การกระจายคลื่นไปยังอาคารสูงทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร

### 2.5.3 กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

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



รูปที่ 2.25 การเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออกจากโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

### บทที่ 3

## ทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น

### 3.1 หลักการแพร่กระจายคลื่น

การสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่จะใช้การสื่อสารทางคลื่นวิทยุซึ่งใช้การกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในอากาศ ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะเป็นค่าส่วนกลับกำลังสองกับระยะทางตามทฤษฎีของ Inverse-square law ถ้ากำหนดการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นลักษณะรอบทิศทาง โดยเครื่องส่งมีกำลังงานที่ส่งออกไป  $P_t$  การแพร่กระจายรอบทิศทางสามารถพิจารณาเป็นลักษณะของวงกลมรอบ ๆ แหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีรัศมีเป็น  $ds$  เป็นค่าดิฟเฟอเรนเชียลของพื้นที่ผิว (Differential of surface) จึงทำให้กำลังงานที่จุดใดๆ สามารถเทียบได้กับพื้นที่ส่วนเล็ก ๆ ( $A$ ) ของพื้นผิวทรงกลม ค่าความหนาแน่นของกำลังงานจะเท่ากับ

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

โดยที่  $P_r$  เป็นกำลังที่เครื่องรับได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งมีความสัมพันธ์รูปแบบปกติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำหนดโดย

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

$$E_{\theta_n}(\theta, \phi) = \left[ \frac{E_{\theta}(\theta, \phi)}{E_{\theta}(\theta, \phi)_{max}} \right] \quad (3.3)$$

$$E_{\phi_n}(\theta, \phi) = \left[ \frac{E_{\phi}(\theta, \phi)}{E_{\phi}(\theta, \phi)_{max}} \right] \quad (3.4)$$

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

$\mu_0$  เป็นค่า Permeability ของ free space โดยมีค่าเท่ากับ  $4\pi \times 10^{-7}$  H/m

$\epsilon_0$  เป็นค่า Permittivity ของ free space โดยมีค่าเท่ากับ  $8.54187817 \times 10^{-12}$  F/m

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

ถ้ากำหนดให้สายอากาศเป็นแบบไอโซโทรปิกและพื้นผิวการกระจายคลื่นเป็นทรงกลม ดังรูปที่ 3.1 ดังนั้นกำลังส่งที่เครื่องรับได้รับคือ

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

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

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

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

สมมติให้  $G_t$  คืออัตราขยายกำลังของสายอากาศจากเครื่องส่ง ดังนั้นความหนาแน่นของกำลังงานในทิศทางของการแพร่กระจายคลื่นจะได้เป็น

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

ส่วนทางด้านสายอากาศของเครื่องรับก็จะติดตั้งในทิศทางที่สามารถรับสัญญาณได้สูงสุด สมมติให้  $P_r$  คือกำลังงานที่สายอากาศของเครื่องรับได้รับ ในกรณีเช่นนี้สายอากาศจะใช้พื้นที่เอฟเฟกทีฟ ( $A_{eff}$ ) ในการรับสัญญาณ ดังนั้นค่ากำลังงานที่รับได้จะมีค่าเป็น

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

ในสายอากาศใดๆ ก็ตาม อัตราส่วนของการขยายสูงสุดต่อพื้นที่เอฟเฟกทีฟ คือ

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

กำหนดให้  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของคลื่นที่แพร่กระจาย ถ้า  $G_r$  คือ อัตราการขยายกำลังของสายอากาศรับ กำลังงานในการรับสัญญาณจะหาได้ดังสมการการแพร่กระจายคลื่นของฟรีอิส (Friis free-space equation) ดังนี้

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

โดย

$P_t$  เป็นกำลังงานในการส่งสัญญาณ

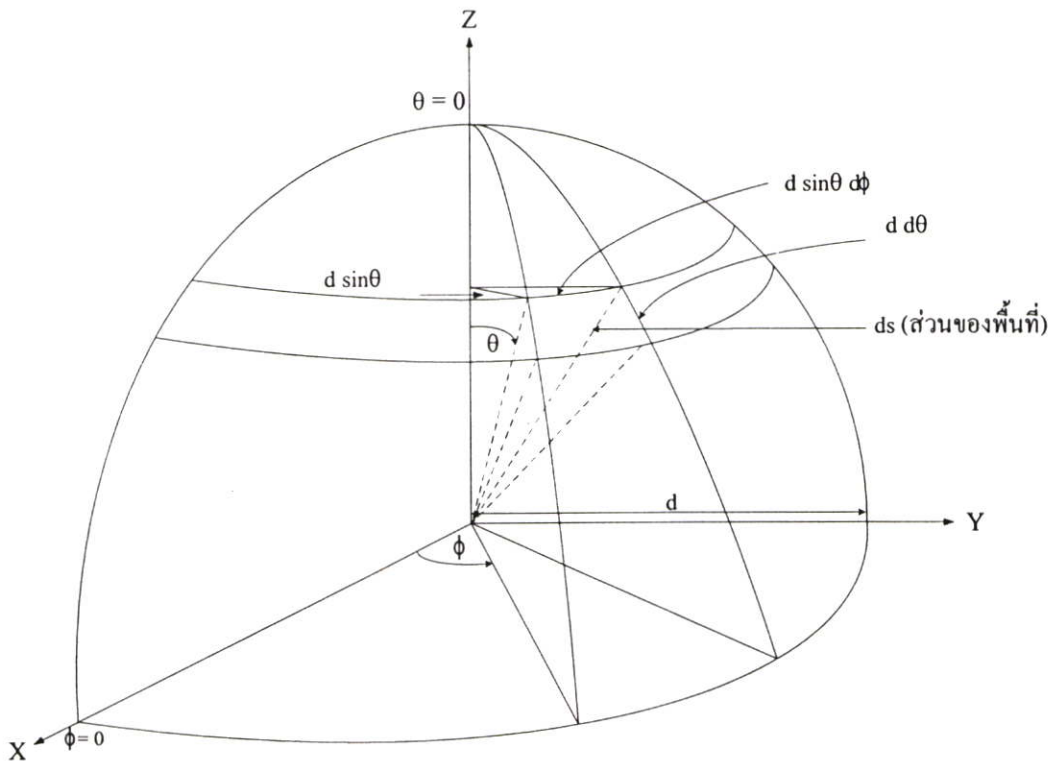
$P_r$  เป็นกำลังงานในการรับสัญญาณ

$G_t$  เป็นเกนของสายอากาศส่ง

$G_r$  เป็นเกนของสายอากาศรับ

$d$  เป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่ง (m)

$\lambda$  เป็นความยาวคลื่นในหน่วยเมตร



รูปที่ 3.1 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิก

ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังงานที่รับได้จะแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งยกกำลังสอง และแปรผกผันกับความถี่ยกกำลังสองอีกด้วย ซึ่งถ้าระยะทางหรือความถี่เพิ่มขึ้น 2 เท่า จะทำให้กำลังงานที่รับได้น้อยลง 4 เท่าจากค่าเดิม โดยแสดงสมการในหน่วยเดซิเบลกำหนดได้

$$P_r(\text{dB}) = P_t(\text{dB}) + G_t(\text{dB}) + G_r(\text{dB}) + 20\log(\lambda/4\pi) - 20\log d \quad (3.11)$$

สองเทอมหลังใน (3.11) รวมเข้าด้วยกันเรียกว่าการลดทอนเนื่องจากระยะทาง (Path loss หรือ Free space loss) ส่วนในสองเทอมแรกรวมกัน ( $P_r, G_r$ ) เรียกว่า Effective Isotropic Radiated Power หรือ EIRP ดังนั้นจะได้

$$L(\text{dB}) = \text{EIRP} + G_r(\text{dB}) - P_r(\text{dB}) \quad (3.12)$$

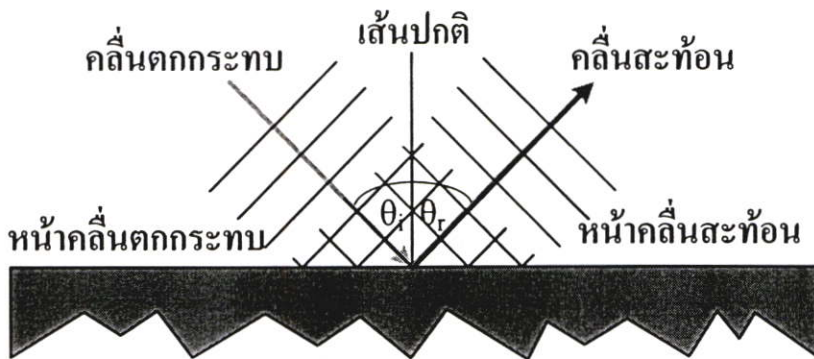
ถ้าแทนค่าความสัมพันธ์  $\lambda = c/f$  โดย  $c$  คือ ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  จะได้สมการการลดทอนดังสมการ (3.13)

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

## 3.2 กลไกพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น (Basic propagation mechanisms)

### 3.2.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection)

การสะท้อนของคลื่นจะเกิดขึ้นเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบพื้นระนาบที่มีมิติกว้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่นของสัญญาณ เช่น การสะท้อนจากพื้นผิวของโลกและจากสิ่งก่อสร้าง หรือคลื่นที่สะท้อนมาจากผนัง



รูปที่ 3.2 การสะท้อนของคลื่น

จากรูปที่ 3.2 จะแสดงลักษณะการตกกระทบและสะท้อนของคลื่น การสะท้อนเกิดจากคลื่นเคลื่อนที่ไปกระทบพื้นระนาบแล้วเคลื่อนที่กลับมากในทิศทางเดิม ในการสะท้อนของคลื่นคลื่นตกกระทบ เส้นปกติ และคลื่นสะท้อนจะอยู่ในระนาบเดียวกัน โดยมุมจากการสะท้อนของคลื่นจะสัมพันธ์กับมุมตกกระทบดังนี้

$$(\theta_i) = (\theta_r) \quad (3.14)$$

$$(\theta_i) = (\theta_r)$$

(3.14)

โดย  $(\theta_i)$  = มุมตกกระทบ

$(\theta_r)$  = มุมสะท้อน

สมการ (3.14) เป็นกฎการสะท้อนของสเนล (Snell's law of reflection) [20] ซึ่งจะใช้หาจุดของแหล่งกำเนิด (เครื่องส่ง) และจุดปลาย (เครื่องรับ)

การแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศส่งและตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตาจะเป็นไปตามสมการการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของฟรีดริส ซึ่งเป็น การพิจารณาคลื่นที่เดินทางผ่านสุญญากาศเท่านั้น แต่สำหรับรูปแบบการสะท้อนของคลื่นบนพื้นดินในรูปที่ 3.3 จะเป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นที่พิจารณาถึงคลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศ และเคลื่อนที่สะท้อนจากพื้นดิน (Two-ray model) โดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในลักษณะนี้ จะสมมุติให้ความยาวคลื่นมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งกีดขวางทั้งหมด ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งมีค่าน้อย และสมมุติให้ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ ค่าของสนามไฟฟ้าที่รับได้ทั้งหมด จะเป็นผลรวมระหว่างสนามไฟฟ้าในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา ( $E_{LOS}$ ) หรือสนามไฟฟ้าที่ได้รับจากคลื่นตรงและค่าของสนามไฟฟ้าที่สะท้อนจากพื้นดิน ( $E_g$ ) จากรูปกำหนดให้  $d$  เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ  $d_1$  เป็นระยะทางของคลื่นในแนวสายตา  $d_2$  เป็นระยะทางของคลื่นสะท้อนจากพื้นดิน  $h_t$  เป็นความสูงของสายอากาศส่ง และ  $h_r$  เป็นความสูงของสายอากาศรับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าคลื่นในแนวสายตา (LOS) จะเดินทางถึงสายอากาศรับเร็วกว่าคลื่นสะท้อนจากพื้นดิน ถ้าให้  $\Delta t$  แทนค่าความต่างของเวลาการเดินทางของทั้งสองเส้นทาง ผลจากการสะท้อนทำให้มีการเปลี่ยนเฟสและการสูญเสียพลังงาน (attenuation) โครงสร้างรูปแบบรูปคลื่นที่ได้รับ  $E(t)$  จะประกอบด้วยส่วนของคลื่นแนวสายตาและคลื่นสะท้อนจากพื้นดิน

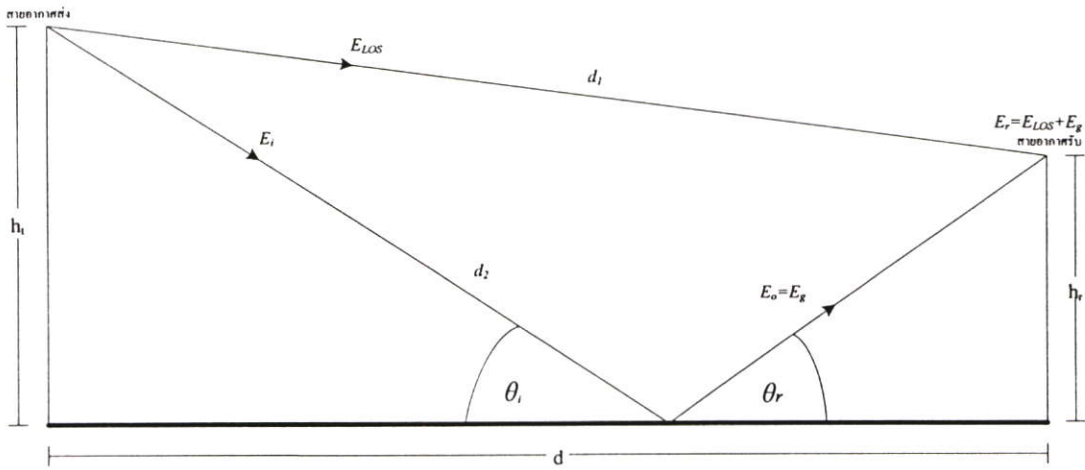
$$E(t) = \underbrace{E_{LOS} \cos(\omega t)}_{LOS \text{ wave}} + \underbrace{\rho E_{LOS} \cos(\omega(t - \Delta t) + \phi)}_{reflected \text{ wave}} \quad (3.15)$$

เมื่อ  $E_0$  เป็นค่าความเข้มสนามไฟฟ้า (amplitude) ของคลื่นแนวสายตาในรูปแบบการแพร่กระจายในพื้นที่ว่าง (free space)  $\rho$  เป็น attenuation factor และ  $\phi$  เป็นมุมการเลื่อนเฟส เราจะกำหนดให้คลื่นสะท้อนเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ปราศจากการสูญเสียของ mirror reflection จะได้  $\phi = \pi$

$$|E(t)| = E_{LOS} \cos(\omega t) + E_{LOS} \cos(\omega(t - \Delta t) + \pi) \quad (3.16)$$

$$= \underbrace{2E_{LOS} \sin\left(\frac{\omega\Delta t}{2}\right)}_{\text{amplitude of received wave}} \cos(\omega t + \psi) \quad (3.17)$$

ซึ่ง  $2E_{LOS} \sin\left(\frac{\omega\Delta t}{2}\right)$  แสดงแอมพลิจูดของคลื่นที่รับได้ (field strength) และ  $\psi$  แทนมุมเฟสที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3.3 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก

เราต้องการหาความเข้มสนามไฟฟ้าในเทอมทางเรขาคณิตในรูปที่ 3.3 ส่วนของการคำนวณกำลังที่ได้รับ

ทำการหา  $\Delta t$  ในเทอมของเรขาคณิต

$$d_1 = \sqrt{d^2 + (h_r - h_t)^2} \approx r \left( 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{h_r - h_t}{d} \right)^2 \right) \quad (3.18)$$

$$d_2 = \sqrt{d^2 + (h_r + h_t)^2} \approx r \left( 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{h_r + h_t}{d} \right)^2 \right) \quad (3.19)$$

ซึ่งเราทำการประมาณค่า  $(1+x)^{\frac{1}{2}} \approx 1 + \frac{1}{2}x$  เมื่อ  $x$  มีค่าน้อย (ในกรณีนี้  $h_t, h_r \ll d$ )

$$d_2 = \sqrt{d^2 + (h_r + h_t)^2} \approx r \left( 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{h_r + h_t}{d} \right)^2 \right) \quad (3.19)$$

ซึ่งเราทำการประมาณค่า  $(1+x)^{\frac{1}{2}} \approx 1 + \frac{1}{2}x$  เมื่อ  $x$  มีค่าน้อย (ในกรณีนี้  $h_t, h_r \ll d$ )

$$\therefore \Delta d = d_2 - d_1 \approx \frac{2h_t h_r}{d} \quad (3.20)$$

$$\therefore \Delta t = \frac{\Delta d}{c} \quad \omega = 2\pi f = \frac{2\pi c}{\lambda} \quad (3.21)$$

จาก (3.8) ปริมาณความเข้มสนามไฟฟ้าคือ

$$|E| = 2E_{LOS} \left| \sin \left( \frac{\omega \Delta t}{2} \right) \right| = 2E_{LOS} \left| \sin \left( \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda r} \right) \right| \quad (3.22)$$

เพราะฉะนั้นกำลังที่ได้รับคือ

$$P_r = 4E_{LOS}^2 \sin^2 \left( \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \right) \quad (3.23)$$

ด้วย  $E_{LOS}$  แสดงความเข้มสัญญาณในกรณีของการแพร่กระจายใน free space เราจะใช้  $E_{LOS}^2$  เทียบกับกำลังที่ได้รับใน free space ที่สมการ (3.8) ดังนั้น

$$E_{LOS}^2 = P_{r_{free\ space}} = \frac{P_t A_{eff}}{4\pi d^2} \quad (3.24)$$

แทนค่า (3.24) ใน (3.23)

$$P_r = \frac{P_t A_{eff}}{\pi d^2} \sin^2 \left( \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \right) \quad (3.25)$$

ถ้ากำหนดให้มุมยกสายอากาศมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับระยะทางระหว่างสายอากาศคือ  $h_t h_r \ll \frac{\lambda d}{4}$

เราจะประมาณค่าให้  $\sin x \approx x$  กรณีที่มุมมีขนาดเล็ก

เพราะฉะนั้น

$$P_r \approx \frac{P_t A_{eff}}{\pi d^2} \cdot \frac{4\pi(h_t h_r)^2}{\lambda^2 d^2} = \frac{4\pi P_t A_{eff} (h_t h_r)^2}{\lambda^2 d^4} \quad (3.26)$$

แทนค่า  $A_{eff}$  ใน (3.26) จะได้

$$P_r = \frac{P_t (h_t h_r)^2}{d^4} \quad (3.27)$$

$$P_r (dB) = 10 \log P_t + 20 \log h_t + 20 \log h_r - 40 \log d \quad (3.28)$$

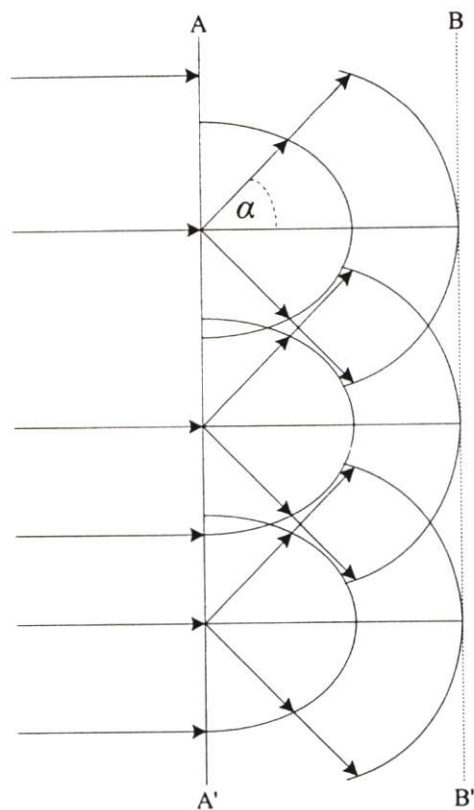
จากสมการ (3.28) นั้นจะได้สมการลดทอน

$$L_{dB} = 40 \log d - 20 \log h_t - 20 \log h_r \quad (3.29)$$

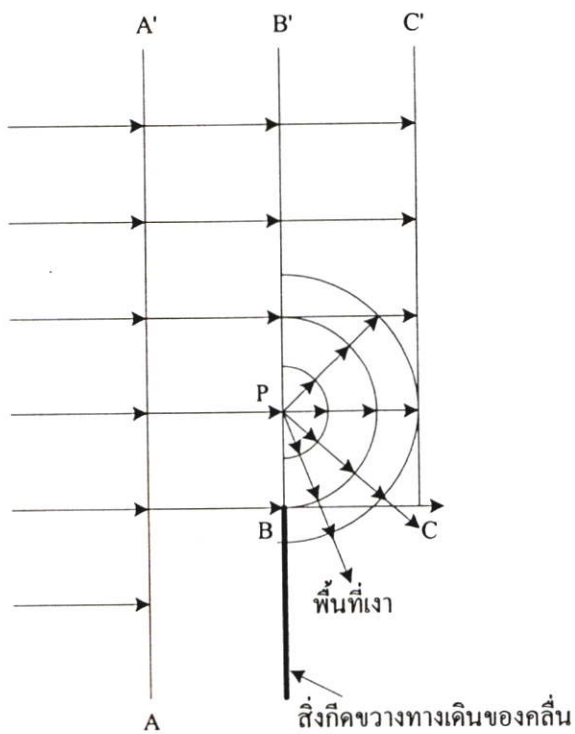
### 3.2.2 การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction)

การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction) จะเกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งกีดขวางระหว่างเส้นทางการเดินทางของคลื่นระหว่างอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณ โดยพื้นผิวของสิ่งกีดขวางมีมุม หรือมีลักษณะที่ไม่เรียบ คลื่นที่มีการเลี้ยวเบนอันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวาง จะมีการเคลื่อนที่ผ่านอากาศและเคลื่อนที่บริเวณด้านหลังของสิ่งกีดขวาง (ทำให้เกิดพื้นที่เงา) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เลี้ยวเบนของคลื่น ที่ความถี่สูงการเลี้ยวเบนจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางเรขาคณิตของสิ่งกีดขวาง แอมพลิจูด เฟส และการโพลาไรซ์ของคลื่นที่จุดที่มีการหักเห ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของคลื่น สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีเบื้องต้นของไฮเกน (Huygen's principle) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า “ทุกๆ จุดบนคลื่นวิทยุสามารถพิจารณาได้ในลักษณะเช่นเดียวกับแหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สอง ซึ่งสามารถเป็นจุดกำเนิดคลื่นย่อยอื่นๆ และคลื่นย่อยต่างๆ เหล่านี้จะประกอบกันเป็นหน้าคลื่นใหม่ในเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น การหักเหที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายของหน้าคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดเขตพื้นที่เงา ซึ่งค่าความหนาแน่นของคลื่นที่เกิดจากการเลี้ยวเบนในเขตพื้นที่เงาจะมีการรวมกันแบบเวกเตอร์ของคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นทั้งหมด”

จากรูปที่ 3.4 เมื่อพิจารณา AA' จะเห็นว่ามีเกิดการเกิดคลื่นในแนวต่างๆ ที่แตกกระจายออกไปในมุม  $\alpha$  ซึ่งมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน ค่าแอมพลิจูดของคลื่นต่างๆ เป็น  $(1 - \cos \alpha)$  แต่ในทิศ

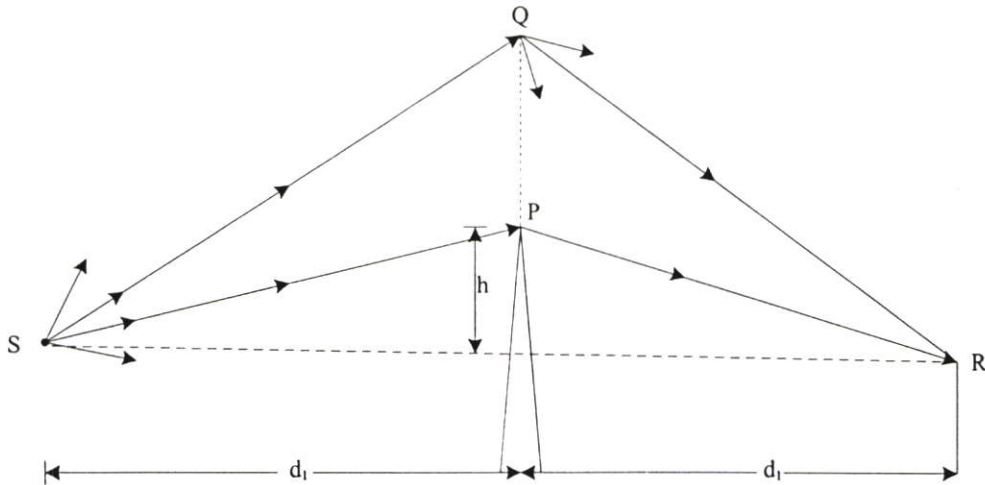


รูปที่ 3.4 หลักการของ Huygen



รูปที่ 3.5 การเลี้ยวเบนของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง

จากรูปที่ 3.5 เมื่อมีเขตพื้นที่เงาเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เช่น ภูเขา หรืออาคาร สิ่งก่อสร้างต่างๆ เหล่านี้ โดยให้ลักษณะของสิ่งกีดขวางเป็นเหลี่ยมแหลม และมีการหักมุม ที่มีลักษณะไม่เรียบ ซึ่งการลดทอนเนื่องจากการเลี้ยวเบนของคลื่นที่เกิดขึ้นบริเวณนี้ จะสามารถอธิบายด้วยหลักการของไฮเกน



S-แหล่งกำเนิดสัญญาณหรือสายอากาศส่ง  
R-สายอากาศรับ  
Q-แหล่งกำเนิดคลื่นลำดับสองตามทฤษฎีของไฮเกน  
P-บริเวณที่เกิดการหักเหของคลื่น

รูปที่ 3.6 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen

จากรูปที่ 3.6 ค่าความแรงของสนามไฟฟ้าที่จุด R ในพื้นที่เงา (จะเรียกว่าโซนการเลี้ยวเบน) จะเป็นผลของเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นในลำดับสองตามทฤษฎีของไฮเกนในพื้นที่เหนือสิ่งกีดขวาง โดยค่าความแรงของสนามไฟฟ้า ( $E_d$ ) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเลี้ยวเบนของคลื่นที่บริเวณกึ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมแหลม จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.30)

$$E_d = E_o F(\nu) \quad (3.30)$$

โดย  $E_o$  เป็นความแรงของสนามไฟฟ้าในอากาศในบริเวณที่ไม่มีสิ่งกีดขวางและ  $F(\nu)$  เป็นฟังก์ชันของค่าพารามิเตอร์การเลี้ยวเบนของเฟรสเนลและไคร์ชอฟฟ์ (Fresnel-Kirchoff diffraction parameter- $\nu$ ) โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (3.31)

$$\nu = h\sqrt{(2/\lambda)(d_1 + d_2)/d_1d_2} \quad (3.31)$$

$$\nu = h\sqrt{(2/\lambda)(d_1 + d_2)/d_1d_2} \quad (3.31)$$

โดย  $h$  เป็นความสูงของสิ่งกีดขวาง และ  $d_1$  และ  $d_2$  เป็นระยะทางของสิ่งกีดขวางจากสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ตามลำดับ ถ้าสิ่งกีดขวางยื่นออกมาเหนือเส้นทางลากจากจุด S ไปยังจุด R โดยค่าของ  $h$  และ  $\nu$  จะเป็นบวก แต่ถ้าสิ่งกีดขวางมีระดับต่ำกว่าสภาวะการมองเห็นในระดับสายตา ค่าของ  $h$  และ  $\nu$  จะเป็นลบ และค่าอินทิกรัลของเฟรสเนลจะสามารถหาได้จากตารางเพื่อใช้ในการหาค่า  $\nu$  โดยสมการการลดทอนเนื่องจากการเลี้ยวเบนในหน่วยเดซิเบลที่เกิดขึ้นจากสิ่งกีดขวางจะแสดงได้ดังสมการที่ (3.32)

$$L_d = 20 \log |F(\nu)| \quad (3.32)$$

เนื่องจากลักษณะของสมการการลดทอนเนื่องจากการเลี้ยวเบนที่จะนำไปหาค่าอินทิกรัลของเฟรสเนลนั้นยากต่อการนำไปคำนวณ ดังนั้น Lee จึงได้ทำการหาค่าคำตอบโดยประมาณในหน่วยเดซิเบลไว้ดังสมการที่ (3.33) ถึงสมการที่ (3.37)

$$L_d = 0 \quad 1 \leq \nu \quad (3.33)$$

$$L_d = 20 \log(0.5 + 6.2\nu) \quad 0 \leq \nu < 1 \quad (3.34)$$

$$L_d = 20 \log 0.5e^{0.95\nu} \quad -1 \leq \nu < 0 \quad (3.35)$$

$$L_d = 20 \log \left( 0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.1\nu + 0.38)^2} \right) \quad -2.4 \leq \nu < -1 \quad (3.36)$$

$$L_d = 20 \log(-0.225/\nu) \quad \nu < -2.4 \quad (3.37)$$

### 3.2.3 การกระเจิงของคลื่น (Scattering)

การกระเจิงหรือการแตกกระจายของคลื่น (Scattering) จะเกิดขึ้นเมื่อตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน เช่น สิ่งกีดขวางต่างๆ มีขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น และจำนวนของสิ่งกีดขวางต่อหน่วยปริมาตรมีจำนวนมาก ในการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณในสิ่งแวดล้อมของคลื่นวิทยุ จะประกอบด้วยค่าการลดทอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนและการหักเหของคลื่นควบคู่

กันทั้งนี้เนื่องจากเมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระ พลังงานสะท้อนจะมีการแตกกระจายออกไปในทุกทิศทาง ดังนั้นสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ต้นไม้ เสาไฟฟ้า และพื้นผิวขรุขระต่างๆ จะได้รับพลังงานที่กระจายออกมา สำหรับพื้นผิวที่มีความขรุขระมากๆ จะใช้การทดสอบโดยหลักการของเรย์ไลซ์ (Rayleigh criterion)

### 3.3 วิธีการหาค่าสูญเสียของสัญญาณ

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

#### 3.3.1 วิธีการของ COST-231 HATA [20] สำหรับเซลล์ขนาดเล็ก

วิธีการหาสมการการลดทอนของ COST-231 Hata ได้ทำการพัฒนาจากวิธีการของ Okumura-Hata เพื่อให้ครอบคลุมย่านความถี่  $1500 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz}$  [20]

$$L(\text{dB}) = F + B \log d - E + G \quad (3.38)$$

ที่ซึ่ง

$$F = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_t \quad (3.39)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log h_t \quad (3.40)$$

$$L(\text{dB}) = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_t - E + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log d + G \quad (3.41)$$

โดย	$f$	เป็นความถี่ที่ใช้งาน (1500-2000 MHz)
	$d$	เป็นระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ (1-20 km)
	$h_t$	เป็นความสูงของสายอากาศส่งที่สถานีฐาน (30-200 m)
	$h_m$	เป็นความสูงของสายอากาศส่งที่ตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (1-10 m)
	$G$	มีค่าเท่ากับ 0 dB สำหรับเมืองที่มีขนาดเล็กและขนาดกลาง

เคลื่อนที่เทียบกับสถานะพื้นฐานที่เป็นเขตพื้นที่ในเมือง

ในเมืองขนาดเล็กและขนาดกลาง

$$E = [1.1 \log f 00.7] h_m - [1.56 \log f - 0.8] \quad (3.42)$$

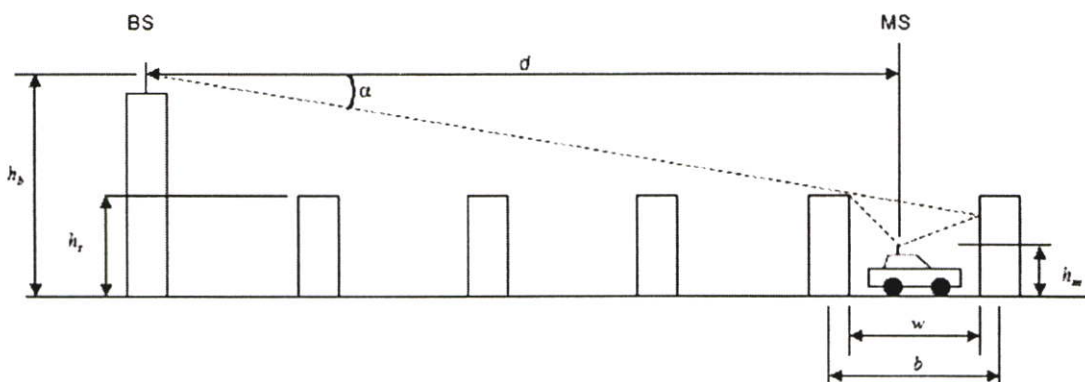
ในเมืองขนาดใหญ่

$$E = 8.29 \left[ \log(1.54 h_m)^2 \right] - 1.1 \quad f < 300 \text{ MHz} \quad (3.43)$$

$$E = 3.2 \left[ \log(11.75 h_m)^2 \right] - 4.97 \quad f \geq 400 \text{ MHz} \quad (3.44)$$

### 3.3.2 วิธีการของ COST-231/Walfisch/Ikegami [20]

วิธีการของ COST-231/Walfisch/Ikegami เป็นวิธีหาค่าสมการลดทอนที่ใช้อาศัยทั้งการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งรูปแบบของสมการการลดทอนของสัญญาณจะประกอบไปด้วยค่าการลดทอนผ่านสูญญากาศ การลดทอนเนื่องจากการหักเห และการลดทอนเนื่องจากระดับความสูงที่แตกต่างกันระหว่างหลังคาของอาคารสิ่งกีดขวางรอบๆ ตัวเครื่องโทรศัพท์ โดยวิธีการดังกล่าวได้พัฒนามาจากวิธีการของ Walfisch-Bertoni [20] และวิธีการของ Ikegami [21] ซึ่งได้มีการทดลองเพิ่มเติมและเปรียบเทียบกับค่าระดับของสัญญาณที่วัดได้จริงในตัวเมือง โดยมีสถานะเบื้องต้น ดังนี้



รูปที่ 3.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ของ โมเดล COST-231/Walfisch/Ikegami

- 1) ความถี่อยู่ในช่วง 800 MHz ถึง 2000 MHz
- 2) ความสูงของสายอากาศส่ง ( $h_b$ ) 4 ถึง 50 เมตร

- 1) ความถี่อยู่ในช่วง 800 MHz ถึง 2000 MHz
- 2) ความสูงของสายอากาศส่ง ( $h_b$ ) 4 ถึง 50 เมตร
- 3) ความสูงของสายอากาศรับหรือตัวเครื่องโทรศัพท์ ( $h_m$ ) 1 ถึง 3 เมตร
- 4) ระยะทาง ( $d$ ) 0.02 กิโลเมตร ถึง 5 กิโลเมตร
- 5) กำหนดให้ความสูงของหลังคาตึกเป็น  $h_{roof}$  มีหน่วยเป็นเมตร
- 6) กำหนดให้ความกว้างของถนนเป็น  $w$  มีหน่วยเป็นเมตร
- 7) กำหนดให้ระยะห่างระหว่างตึกเป็น  $b$  มีหน่วยเป็นเมตร
- 8) กำหนดให้การจัดเรียงของถนนตามแนวเส้นทางของคลื่นในแนวระดับเป็น  $\Phi$

วิธีการของ COST-231/Walfisch/Ikegami ประกอบด้วยสมการการลดทอนของสัญญาณใน 2 เส้นทาง คือ เส้นทางการมองเห็นในระดับสายตาและเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวางบดบัง ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณสำหรับเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง จะแสดงดังสมการที่ (3.45)

$$L_b = L_f + L_{rts} + L_{msd} \quad (3.45)$$

โดย  $L_f$  เป็นการลดทอนของสัญญาณเมื่อผ่านอากาศ มีค่าดังสมการที่ (3.46)

$$L_f = 32.45 + 20 \log d + 20 \log f \quad (3.46)$$

$L_{rts}$  เป็นการลดทอนของสัญญาณจากการเลี้ยวเบนและการกระเจิงจากหลังคาตึก

$$L_{rts} = -16.9 - 10 \log w + 10 \log f + 20 \log(h_{roof} - h_m) + L_{ori} \quad (3.47)$$

$L_{ori}$  เป็นการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการจัดเรียงของถนน

$$L_{ori} = -10 + 0.35 \phi \quad 0 \leq \phi < 35 \text{ องศา} \quad (3.48)$$

$$L_{ori} = 2.5 + 0.075(\phi - 35) \quad 35 \leq \phi < 55 \text{ องศา} \quad (3.49)$$

$$L_{ori} = 4.0 + 0.114(\phi - 55) \quad 55 \leq \phi \leq 90 \text{ องศา} \quad (3.50)$$

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

$$L_{msd} = L_{bsh} + k_a + k_d \log d + k_f \log f - 9 \log b \quad (3.51)$$

$$L_{bsh} = -18 \log(1 + h_b - h_{roof}) \quad h_b > h_{roof} \quad (3.52)$$

$$L_{bsh} = 0 \quad h_b \leq h_{roof} \quad (3.53)$$

$$k_a = 54 \quad h_b > h_{roof} \quad (3.54)$$

$$k_a = 54 - 0.8(h_b - h_{roof}) \quad d \geq 0.5 \text{ และ } h_b > h_{roof} \quad (3.55)$$

$$k_a = 54 - 0.8(h_b - h_{roof})(d/0.5) \quad d < 0.5 \text{ และ } h_b \leq h_{roof} \quad (3.56)$$

$$k_d = 18 \quad h_b > h_{roof} \quad (3.57)$$

$$k_d = 18 - 15(h_b - h_{roof})/h_{roof} \quad h_b \leq h_{roof} \quad (3.58)$$

สำหรับตัวเมืองขนาดเล็กและบริเวณศูนย์กลางปริมาตรที่มีต้นไม้พอประมาณ

$$k_f = -4 + 0.7\left(\frac{f}{925} - 1\right) \quad (3.59)$$

สำหรับศูนย์กลางของตัวเมือง

$$k_f = -4 + 1.5\left(\frac{f}{925} - 1\right) \quad (3.60)$$

### 3.3.3 วิธีการของ C.Y. Lee [22,23]

วิธีการหาค่าสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น โดยอาศัยการคาดคะเนแบบจุดต่อจุดจะสามารถทำได้ด้วยการวัดระดับกำลังงานของสัญญาณเฉลี่ยที่ได้ในแต่ละจุดเทียบกับระยะทางในพื้นที่ต่างๆ แล้วหาค่าระดับกำลังงานของสัญญาณที่มีการลดลงหรือค่าสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะทางในลักษณะของฟังก์ชันเชิงเส้นด้วยการใช้สเกลล็อกการิทึม (Log-normal distribution) ในหน่วย dB โดยกำลังของ  $d$  ที่ลำดับ  $n$  จะมีความสัมพันธ์ที่อ้างอิงกับระยะทาง  $d_0$  ซึ่งก็คือรัศมีการแพร่กระจายคลื่นไมโครเซลล์ที่มีค่าเท่ากับ 100 เมตร เมื่อค่าของ  $n$  จะเท่ากับ 2 ในเส้นทางแนวระดับสายตาและเส้นทางนอกแนวระดับสายตาเท่ากับ 3 ถึง 4 โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นและระยะทาง จะแสดงได้ดังนี้

$$\bar{L}_p(d) = \frac{d^n}{d_o} \quad (3.61)$$

$$\bar{L}_p(d) = L_s(d_o) + 10n \log\left(\frac{d}{d_o}\right) \quad (3.62)$$

$$L_s(d_o) = \left(\frac{4\pi d_o}{\lambda}\right)^2 \quad (3.63)$$

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

## บทที่ 4

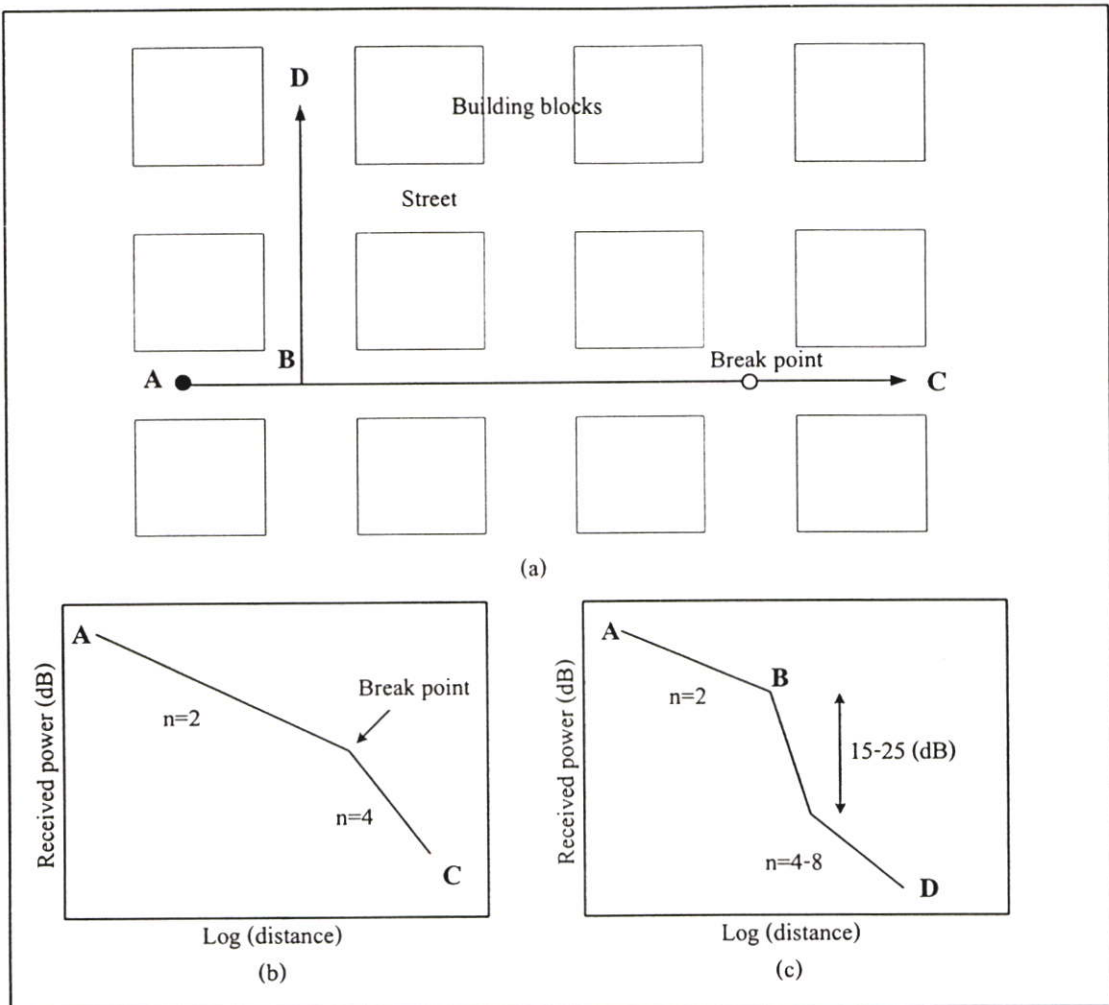
# วิธีการที่นำเสนอและผลการทดลอง

การให้บริการของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุบุคคล (PCT) ในพื้นที่เขตเมืองที่มีปริมาณการใช้งานสูงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นนั้น กำลังงานที่เครื่องลูกข่ายสามารถรับได้จากแต่ละสถานีเซลล์ ควรจะมีระดับที่เพียงพอเพื่อให้มีการใช้งานเป็นไปอย่างต่อเนื่องและสามารถที่จะแฮนด์โอเวอร์ระหว่างสถานีเซลล์ที่เครื่องลูกข่ายสามารถจับใช้งานในพื้นที่นั้นได้ ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพสัญญาณของสถานีเซลล์จะต้องพิจารณากำลังงานของสัญญาณที่แพร่กระจายในพื้นที่สถานีเซลล์ของโทรศัพท์ระบบ PCT นั้นจะเป็นแบบไมโครเซลล์ โดยมีรัศมีของพื้นที่บริการในกรณีที่ใช้งานในพื้นที่สาธารณะประมาณ 50-300 เมตร ขึ้นอยู่กับชนิดของสถานีเซลล์ ในพื้นที่เขตเมืองนั้นสิ่งแวดล้อมต่างๆ ส่วนมากจะเป็นตัวอาคารที่อยู่บริเวณสองข้างถนน การแพร่กระจายคลื่นจากสถานีเซลล์นั้นจะต้องมีการแพร่กระจายไปตามเส้นทางในระดับแนวสายตา (Line-of-Sight : LOS) และเส้นทางในระดับแนวนอกสายตา (Non-Line-of-Sight : NLOS) เนื่องจากตัวอาคารทำให้เกิดการบดบังการแพร่กระจายคลื่นในถนนหลังจากมุมเงี้ยวของตัวอาคารหรือเป็นเส้นทาง NLOS คลื่นที่สามารถเดินทางใน NLOS นั้นจะเกิดจากการสะท้อนกับผนังอาคารบริเวณเส้นทาง LOS แล้วเลี้ยวเบนเข้าไปยังเส้นทาง NLOS และถ้ามีอาคารอยู่บริเวณสองข้างในเส้นทาง NLOS ก็จะทำให้เส้นทางของคลื่นสะท้อนไปมาระหว่างตัวอาคารด้วย ซึ่งจะทำให้การเดินทางของคลื่นมีระยะเพิ่มมากขึ้นตามการสะท้อนซึ่งจะส่งผลให้ค่าลดทอนของสัญญาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการวิเคราะห์หาการสูญเสียจากการแพร่กระจายของคลื่นในพื้นที่ที่ต้องการทั้งในกรณีของ LOS และ NLOS ควรใช้วิธีที่เหมาะสม งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลการวัดกับโมเดลการทำนายของการแพร่กระจายคลื่นสำหรับระบบโทรศัพท์พหุบุคคล พีซีที ที่มีอยู่แล้วมาช่วยในการพิจารณาปรับปรุงประสิทธิภาพสถานีเซลล์

### 4.1 รูปแบบเส้นทางบนถนนไมโครเซลล์ [24]

การศึกษาเรื่องการแพร่กระจายคลื่นบนเส้นทางไมโครเซลล์นั้นจะสมมติให้ถนนเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีจุดตัดกันด้วยบล็อกของอาคารดังรูปที่ 4.1 (a)

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



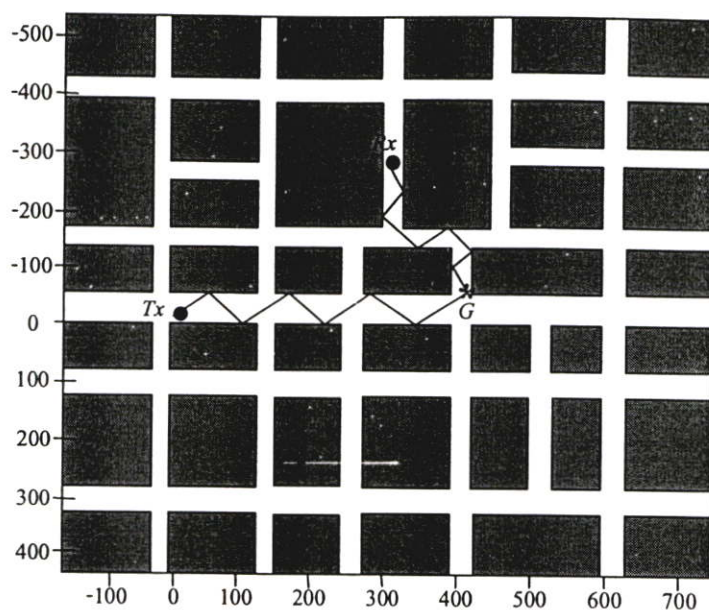
รูปที่ 4.1 (a) รูปแบบของถนนไมโครเซลล์ในเขตพื้นที่เมือง

(b) ลักษณะกราฟ Path Loss บนเส้นทาง LOS

(c) ลักษณะกราฟ Path Loss บนเส้นทาง NLOS

## 4.2 วิธีการที่นำเสนอ

วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณโดยใช้หลักการ Ray tracing หลักการอิมเมจและหลักการ UTD [25,26] ในรูปที่ 4.2 จะแสดงเส้นทางการเดินทางของคลื่นที่ได้กำหนดขึ้น โดยตำแหน่งของสายอากาศส่งสัญญาณ ( $T_x$ ) จะติดตั้งไว้ที่ความสูง  $h_t$  เมตรเหนือพื้นผิวถนนและมีระยะห่างจากผนังตึกใกล้ที่สุดเป็น ( $X_o$ ) เมตร ส่วนสายอากาศรับสัญญาณหรือตัวเครื่องโทรศัพท์ ( $R_x$ ) จะมีการเคลื่อนที่ไปตามถนนสายหลักและถนนที่ตัดฉากและขนานกับถนนสายหลัก ซึ่งตำแหน่งต่างๆ จะประกอบด้วยค่าแอมพลิจูดตามแนวตั้งและค่าเฟสของค่าความแรงของสัญญาณจะนำไปหาค่ากำลังงานของสัญญาณ



รูปที่ 4.2 เส้นทางการเดินทางของคลิ่น

โดยคลิ่นจะเดินทางผ่านเส้นทางที่เกิดการสะท้อนเนื่องจากพื้นผิวถนนเพียงครั้งเดียว 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  $T_i^G$  จะแสดงจุดอิมเมจอันเนื่องมาจากการสะท้อนของพื้นผิวถนนหลังจากที่มีการสะท้อนจากผนังมาแล้ว  $i$  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  $j$  เป็นจำนวนครั้งเมื่อเกิดการสะท้อนจากผนัง

$[X_m, Y_m]$  เป็นตำแหน่งของอิมเมจบนแผนที่ซึ่งหาได้โดยใช้หลักการอิมเมจ

ในการหา  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_i, T_i^G, T_{i+1}, \dots, T_j$  จากตำแหน่ง  $[X_m, Y_m]$  เราจะต้องทำการอธิบายลำดับการสะท้อน เช่น ตำแหน่งใดเป็นตำแหน่งที่เกิดการสะท้อน อันเนื่องมาจากพื้นผิวถนนเป็นต้น ซึ่งจุดอิมเมจ  $T_1, T_2, T_3, \dots, T_i, T_i^G, T_{i+1}, \dots, T_j$  ต่างๆ เหล่านี้ เป็นจุดอิมเมจที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลิ่นเดียวกันสำหรับการสะท้อนหลายๆ ครั้งที่ผนังและพื้นผิวถนน

สำหรับการเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นบริเวณมุมตึก สามารถอธิบายได้ด้วยรัศมีการสะท้อนหลายๆ ครั้งก่อนที่เกิดการเลี้ยวเบนที่จุด  $B_c$  จากกฎการเลี้ยวเบน เมื่อคลิ่นตกกระทบสิ่งกีดขวาง จะทำให้เกิดการเลี้ยวเบนและคลิ่นใหม่ที่เกิดขึ้นก็มีจำนวนมากเป็นอนันต์ ซึ่งการเดินทางของคลิ่นที่

เกิดขึ้นเหล่านี้ไปยัง  $R_x$  จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ  $R_x$  ซึ่งมีความสัมพันธ์  $T_j$  และ  $B_c$  จุดที่เกิดการเลี้ยวเบนอย่างแท้จริงหรือจุด  $Q_e$  ที่มุมตึก  $B_c$  จะสามารถอธิบายได้โดยการใช้ทฤษฎีเบื้องต้นของ Fermat

ในกรณีที่มีการเลี้ยวเบนของคลื่นเกิดขึ้นระหว่างจุด  $S$  หรือจุดอิมเมจ  $T_j$  และจุด  $P$  หรือ  $R_x$  เมื่อลากเส้นระหว่าง 2 จุดแล้วจะได้เส้นโค้งที่มีจุดเลี้ยวเบนอยู่ที่บริเวณที่มีการเลี้ยวเบนของคลื่น กำหนดใน  $Q_e = [X_e, Y_e, Z_e]$  โดย  $Z_e$  เป็นตัวแปรในการอธิบายความสูงของตำแหน่งที่มีการเลี้ยวเบนบริเวณ  $B_c$  ค่าของ  $X_e$  และ  $Y_e$  จะรู้ได้โดยการบอกตำแหน่งของ  $B_c$  สำหรับค่า  $Z_e$  สามารถอธิบายได้โดยการเขียนระยะห่างระหว่างจุด  $S$  และจุด  $P$  ด้วยจุดเพียงจุดเดียวบน  $B_c$  ในเทอมของ  $Z_e$  เช่น  $D_{SP}(Z_e) = SQ_e(Z_e) + Q_eP(Z_e)$  โดยค่าราก (Derivative) ของ  $D_{SP}$  ที่สัมพันธ์กับ  $Z_e$  ที่มีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้นจึงสามารถหาค่าของ  $Z_e$  ได้ ในทางกลับกันจุดที่เกิดการเลี้ยวเบน  $Q_e$  ก็สามารถหาได้โดยกฎของการเลี้ยวเบน สำหรับลำดับย่อยของการสะท้อนที่เกิดจากผนังและพื้นผิวดน หลังจากการเลี้ยวเบนจะใช้ทฤษฎีเบื้องต้นของ Fermat [27] ในการอธิบายจุดที่เกิดการสะท้อนและเลี้ยวเบน

อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบของการสะท้อนและการเลี้ยวเบน จะใช้อธิบายระดับความแรงของสัญญาณที่เกิดขึ้นในถนนที่ตั้งฉากและขนานกับถนนสายหลัก เราพบว่าองค์ประกอบของการสะท้อนและการเลี้ยวเบนจะขึ้นอยู่กับ ระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งกับสี่แยกของถนน นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับความกว้างของถนนสายหลักและถนนสายที่ตั้งฉากและขนานกับถนนสายหลัก ประโยชน์ของหลักการอิมเมจ คือ สามารถที่จะอธิบายจุดที่เกิดการสะท้อนที่แท้จริงบริเวณผนังและพื้นผิวดน ในกรณีที่เป็นการเลี้ยวเบนตำแหน่งของจุดที่มีการเลี้ยวเบนจะอยู่บริเวณขอบของสิ่งกีดขวางสำหรับการสะท้อนหรือการเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นที่จุด  $Q$  กำลังงานของคลื่นตกกระทบ  $E^i(Q)$  จะก่อให้เกิดกำลังงาน  $E^{r,d}(s)$  ที่จุด  $S$  [25], [26] ดังสมการ

$$E^{r,d}(s) = E^i(Q) \cdot H(Q, S) \cdot e^{-jks} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} H(Q, S) &= R \cdot A_s && \text{สำหรับการสะท้อน} \\ H(Q, S) &= R \cdot A_d && \text{สำหรับการเลี้ยวเบน} \end{aligned} \quad (4.2)$$

โดย  $R$  เป็นสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนทั้งแนวตั้งฉากและแนวขนาน

$$E^r(s) = E^i(Q) \cdot R \cdot A_s(S) \cdot e^{-jks} \quad (4.3)$$

$$R = R_h e_{\perp}^i e_{\perp}^r + R_v e_{\parallel}^i e_{\parallel}^r \quad (4.4)$$

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

$$A_s(S) = \frac{\rho}{s + \rho} \quad (4.5)$$

$$R_h(\varphi, \varepsilon) = \frac{\sin(\varphi) - \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}}{\sin(\varphi) + \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}} \quad (4.6)$$

$$R_v(\varphi, \varepsilon) = \frac{\varepsilon \sin(\varphi) - \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}}{\varepsilon \sin(\varphi) + \sqrt{\varepsilon - \cos^2(\varphi)}} \quad (4.7)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_r - j60\sigma\lambda \quad (4.8)$$

- $\rho$  เป็นรัศมีของเส้น โค้งหน้าคลื่นที่มีการสะท้อน

$$E^d(s) = E^i(Q)D \cdot A_d(S)e^{-jks} \quad (4.9)$$

- $A_d$  เป็นแฟกเตอร์การแพร่กระจายสำหรับการเลี้ยวเบนที่ขอบสิ่งกีดขวาง

$$A_d(s) = \sqrt{\frac{\rho}{s(\rho + s)}} \quad (4.10)$$

- $D$  เป็นสัมประสิทธิ์ของการเลี้ยวเบนทั้งแนวตั้งฉากและแนวขนาน

$$D = -D_h\beta_o'\beta_o - D_v\phi'\phi \quad (4.11)$$

$$D_{v,h}(L, \phi, \phi', \beta_o, n) = D_1 + D_2 + R_{v,h}(D_3 + D_4) \quad (4.12)$$

$$D_1 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k \sin(\beta_o)}} \cot\left[\frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n}\right] F[kLa^+(\phi - \phi')] \quad (4.13)$$

$$D_2 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k \sin(\beta_o)}} \cot\left[\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n}\right] F[kLa^-(\phi - \phi')] \quad (4.14)$$

$$D_3 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k \sin(\beta_o)}} \cot\left[\frac{\pi + (\phi + \phi')}{2n}\right] F[kLa^+(\phi + \phi')] \quad (4.15)$$

$$D_4 = \frac{-e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k \sin(\beta_o)}} \cot\left[\frac{\pi - (\phi + \phi')}{2n}\right] F[kLa^-(\phi + \phi')] \quad (4.16)$$

$$L = \frac{ss'}{(s + s')} \sin^2(\beta_o) \quad (4.17)$$

$s$  เป็นระยะทางจากจุด  $Q$  ไปยังจุด  $S$

$s'$  เป็นระยะทางจากแหล่งกำเนิดคลื่นไปยังจุด  $Q$

$$F(x) = 2j\sqrt{x} \int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-ju^2} du \quad \text{เมื่อ } x > 0 \quad (4.18)$$

$$F(x) = F^*(|x|) \quad \text{เมื่อ } x < 0 \quad (4.19)$$

$$a^\pm(\beta^\pm) = 2 \cos^2\left(\frac{2\pi n N^\pm - \beta^\pm}{2}\right) \quad (4.20)$$

$$\beta^\pm = \phi \pm \phi' \quad (4.21)$$

$N^\pm$  เป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าใกล้เคียงมากที่สุดของสมการ (4.22)

$$\begin{aligned} 2\pi n N^+ - (\phi \pm \phi') &= \pi \\ 2\pi n N^- - (\phi \pm \phi') &= -\pi \end{aligned} \quad (4.22)$$

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

สายอากาศส่งและรับสัญญาณ เป็นสายอากาศแบบไดโพลซึ่งมีรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นและมีการโพลาไรซ์ คือ  $E_i \sin(\theta) \left( \frac{e^{-jkr}}{r} \right) \hat{\theta}$  โดยกำลังงานที่รับได้ จะแสดงดังสมการ (4.23)

[25]

$$P_r = A \cdot S = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi} \left| \frac{E_r}{Z_o} \right|^2 = P_t G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \frac{E_r}{E_i} \right|^2 \quad (4.23)$$

เมื่อ  $E_i = \sqrt{(\eta_o / 4\pi) P_t G_t}$   
 $\eta_o = \sqrt{\mu / \varepsilon} \approx 120\pi$  เป็นค่าความต้านทาน  
 $P_{t,r}$  เป็นกำลังงานในการส่งและรับสัญญาณ ตามลำดับ  
 $G_{t,r}$  เป็นเกนหรือกำลังขยายในการส่งและรับสัญญาณ ตามลำดับ  
 $A$  แอมพลิจูดของสายอากาศ  
 $S$  ความหนาแน่นของกำลังงาน  
 $E_r$  สนามไฟฟ้าที่ตัวรับสัญญาณ  $R_x$   
 $\theta$  มุมโพลาไรซ์  
 $\sin(\theta)$  เป็นรูปแบบของสายอากาศ

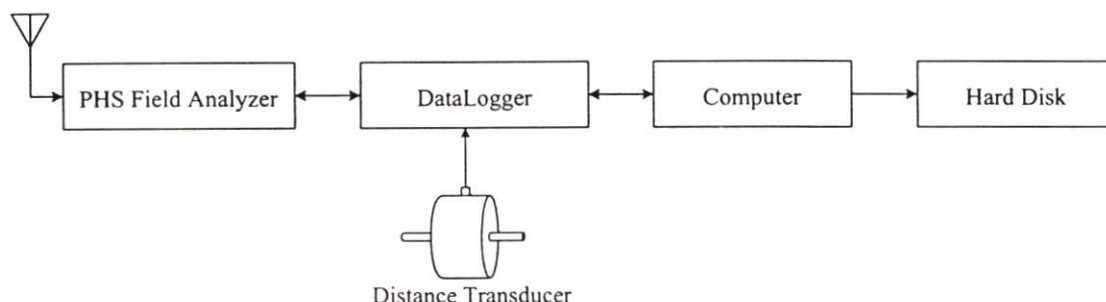
ดังนั้นค่าการลดทอนของสัญญาณจะสามารถหาได้จากสมการดังสมการที่ (4.24) [28]

$$L = \frac{P_r}{P_t G_t G_r} = 20 \log \left| \frac{\lambda}{4\pi G_t G_r} \cdot \frac{E_r}{E_i} \right| \quad (4.24)$$

### 4.3 การทดลอง

การวิเคราะห์ค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นที่บริเวณแยกสุทธิการจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลจากสถานที่จริง เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะทำให้การวิเคราะห์ผิดพลาดน้อยที่สุด ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการวัดระดับสัญญาณจากสถานที่จริงจะต้องละเอียดมากพอ เนื่องจากค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นเป็นฟังก์ชันของระยะทาง ดังนั้นการวิเคราะห์หาค่าแฟกเตอร์ของการสูญเสียจึงมีความจำเป็นต้องมีเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและทำให้ทราบถึงปรากฏการณ์ของคลื่น เพื่อให้เกิดความแม่นยำและสะดวกรวดเร็ว ในการเก็บข้อมูลด้วยการวัดระดับสัญญาณการแพร่กระจายคลื่น ดังนั้นจะต้องมีเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดการเดินทางของคลื่นที่สัมพันธ์กับระยะที่เปลี่ยนไปหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าคาล์อกรีต

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการแพร่กระจายที่สัมพันธ์กับระยะทางหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เครื่อง คาด้าล็อกเกอร์ (Data logger) เครื่องคาด้าล็อกเกอร์นี้ทำให้เกิดความสะดวกรวดเร็วในการเก็บข้อมูล ซึ่งแสดงให้เห็นการทำงานโดยแบ่งเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 บล็อกไดอะแกรมเครื่องรับและคาด้าล็อกเกอร์ (Data logger) ที่ใช้ในการวัดสนาม

#### 4.3.1 พีเอชเอสฟิลด์อานาไลเซอร์

พีเอชเอสฟิลด์อานาไลเซอร์ (PHS Field Analyzer) เป็นเครื่องรับสัญญาณ PHS ทำงานอยู่ที่ย่านความถี่ 1900 MHz สามารถวัดสัญญาณทุกช่องสัญญาณของระบบพีเอชเอส (PHS) ซึ่งคุณสมบัติของเครื่องแสดงให้ในตารางที่ 4.1 การทำงานของเครื่องพีเอชเอสฟิลด์อานาไลเซอร์ (PHS Field Analyzer) เป็นเครื่องของยี่ห้อลีดเดอร์ (Leader) รุ่น โมเดล LF960 สามารถที่จะทำการวัดเซลล์สเตชันได้ 4 แบบคือ

##### 4.3.1.1 ไวด์แบนด์สเปกตรัมอานาไลเซอร์

ไวด์แบนด์สเปกตรัมอานาไลเซอร์ (Wide Band Spectrum Analyzer) สามารถแสดงสเปกตรัมของช่องสัญญาณพีเอชเอสทั้ง 77 ช่องสัญญาณว่าค่าระดับของสัญญาณ ณ เวลานั้นมีค่าระดับสัญญาณเป็นเท่าใดในแต่ละช่องของสัญญาณ

##### 4.3.1.2 แนร์โรว์แบนด์สเปกตรัมอานาไลเซอร์

แนร์โรว์แบนด์สเปกตรัมอานาไลเซอร์ (Narrow Band Spectrum Analyzer) สามารถแสดงสเปกตรัมของช่องสัญญาณได้พร้อมกัน 6 ช่องสัญญาณ โดยที่ค่าความถี่ที่เลือกเป็นความถี่ศูนย์กลางของสเปกตรัมทั้งหมด ความถี่ทางด้านล่างและด้านบนจะเป็นช่องของสัญญาณที่อยู่ข้างเคียงความถี่ศูนย์กลางที่เลือก

##### 4.3.1.3 มัลติแทร็กซิง

มัลติแทร็กซิง (Multi tracing) สามารถแสดงว่าขณะที่ทำงาน ณ ช่องความถี่นั้นๆ จำนวนของเซลล์สเตชัน (Cell Station) ที่สามารถรับสัญญาณที่จุดนั้นได้กี่เซลล์ โดยที่แต่ละเซลล์สเตชัน จะมีรหัสประจำเครื่อง (ID-CS) แสดงให้ทราบและบอกระดับความแรงของสัญญาณ ณ จุดนั้นๆ ว่าสามารถวัดความแรงของแต่ละเซลล์สเตชันมีค่าเท่าใด

#### 4.3.1.4 ซิงเกิลแทร็กซิ่ง

ซิงเกิลแทร็กซิ่ง (Single Tracing) สามารถวัดความแรงระดับสัญญาณของเซลล์ใดๆ จากจำนวนเซลล์ทั้งหมดที่แสดงให้ดูทุกๆ เซลล์ตอนที่พีเอชเอสฟิลด์คานาไลเซอร์ทำงานอยู่ในโหมดมัลติแทร็กซิ่ง (Multi tracking) โดยที่ในโหมดซิงเกิลแทร็กซิ่ง มีข้อแตกต่างก็คือจะทราบรายละเอียดต่างๆ ของเซลล์แต่ละชั้น เช่น บิตเออร์เรอร์เรท (Bit Error Rate) ดังนั้นในการทดลองนี้ที่ต้องการวิเคราะห์ลักษณะพื้นที่ครอบคลุมเซลล์ของแต่ละเซลล์อย่างละเอียดจึงใช้โหมดนี้ ซึ่งจะทำให้ทราบรายละเอียดได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของเครื่องวัดความเข้มสัญญาณ (PSH Field Protocol Analyzer) รุ่น LF-960 ยี่ห้อ Leader

อินพุทอิมพีแดนซ์	50 $\Omega$
สัญญาณอินพุทสูงสุด	100 dB $\mu$ V (EMF)
ย่านความถี่	1895.15MHz to 1917.94 MHz
ช่องความถี่	300kHz
ความถูกต้องของความถี่	ในช่วง $\pm 3 \times 10^{-6}$ Hz
วิธีการเข้าถึง, วิธีการมอดคูเลท	TDMA-TDD, $\pi/4$ shift QPSK
ระดับการวัดสัญญาณ	-SPECTRUM, CS-TRACE:CCH PS-TEST 0 dB $\mu$ V ถึง 60 dB $\mu$ V (EMF) เมื่อไม่มีค่าลดทอน, 30 dB $\mu$ V ถึง 85 dB $\mu$ V (EMF) เมื่อมีค่าลดทอน -CS-TRACE : MULTI, SINGLE, TIME 0 dB $\mu$ V ถึง 85 dB $\mu$ V (EMF) เมื่อมีค่าลดทอนอัตโนมัติ
ระยะห่าง	0.1 dB
ความถูกต้อง	-SPECTRUM, CS-TRACE:CCH, PS-TEST $\pm 3$ dB $\mu$ V (10 dB $\mu$ V ถึง 60 dB $\mu$ V) เมื่อไม่มีค่าลดทอน $\pm 3$ dB $\mu$ V (35 dB $\mu$ V ถึง 75 dB $\mu$ V) เมื่อมีค่าลดทอน -CS-TRACE : MULTI, SINGLE, TIME $\pm 3$ dB $\mu$ V (10 dB $\mu$ V ถึง 60 dB $\mu$ V) เมื่อมีค่าลดทอนอัตโนมัติ
การเลือกช่องสัญญาณข้างเคียง	$\geq 50$ dB

## ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของสายอากาศวัดความเข้มสัญญาณ (PSH Field Protocol Analyzer)

รุ่น LF-960 ยี่ห้อ Leader

ย่านความถี่	1895MHz ถึง 1918 MHz
VSWR	≤ 3
โพลาไรซ์เซชัน (Polarization)	เวอร์ติคอลลีโพลาไรซ์ (Vertically polarized)
ไดเรกทิวิตี (Directivity)	ไม่มีในแนวนอน
เกณ (Gain)	2.15dBi

### 4.3.2 ดาต้าล็อกเกอร์

ดาต้าล็อกเกอร์ (Data logger) เป็นวงจรสำหรับทำหน้าที่ในการจัดการเกี่ยวกับการวัดระดับสัญญาณ, การส่งคำสั่งควบคุม, การวัดระดับสัญญาณแบบสัมพันธ์กับเวลาหรือเรียกว่าแบบแซมปลิง (Sampling) เป็นช่วงเวลาและวัดระดับสัญญาณที่สัมพันธ์กับระยะทาง โดยที่ข้อมูลที่อ่านได้จากเครื่องพีเอชเอสฟิลด์อานาไลเซอร์ โดยเครื่องดาต้าล็อกเกอร์จะส่งข้อมูลที่อ่านได้ไปเก็บที่เครื่องคอมพิวเตอร์โดยรูปแบบการเก็บข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบของ Text File บันทึกไว้ในฮาร์ดดิสก์ ทำให้เกิดความสะดวกในการวิเคราะห์

### 4.3.3 ส่วนวัดระยะทาง

ส่วนวัดระยะทางทำหน้าที่เปลี่ยนระยะทางให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อกระตุ้นให้หน่วยประมวลผลกลางของดาต้าล็อกเกอร์ส่งคำสั่งไปยังเครื่องพีเอชเอสฟิลด์อานาไลเซอร์ เพื่อวัดระดับสัญญาณตามระยะทางที่คลื่นเดินทาง

### 4.3.4 คอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์ (Computer) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องพีเอชเอสฟิลด์อานาไลเซอร์ และรับข้อมูลของระดับสัญญาณที่วัดได้เข้ามาเก็บไว้ในฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) การเชื่อมต่อผ่านทางพอร์ทอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวกับเครื่องดาต้าล็อกเกอร์สามารถที่จะควบคุมการทำงานต่างๆ ของเครื่องพีเอชเอสฟิลด์อานาไลเซอร์ได้ โดยรูปแบบการเก็บข้อมูลระดับสัญญาณที่อ่านได้ในรูปแบบ เท็กซ์ (Text Mode) ไว้ในฮาร์ดดิสก์ ทำให้เกิดความสะดวกในการทำงานและสามารถเก็บข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก โหมดของโปรแกรมการทำงานได้ 3 โหมด คือ

1. ซิงเกิลสเต็ป (Single Step) คือการวัดสัญญาณเพียงหนึ่งครั้งทันทีเมื่อมีการกดปุ่มซิงเกิลสเต็ปหนึ่งครั้ง

2. ออโต้เมสเซอร์ (Auto Measure) คือการวัดระดับสัญญาณตามค่าของเวลาที่ตั้งไว้ เมื่อครบเวลาที่ตั้งไว้โปรแกรมก็จะส่งคำสั่งไปยังพีเอชเอสฟิลด์อานาไลเซอร์ เพื่ออ่านค่าระดับสัญญาณแล้วนำค่าเข้ามาเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งการทำงานจะซ้ำอย่างนี้เรื่อยไป

3. คีสมานซ์ทรานส์ดิวเซอร์ (Distance Transducer) คือการวัดระดับสัญญาณตามระยะทางที่เปลี่ยน คือเมื่อรถเคลื่อนที่ไปทำให้ตำแหน่งของแม่เหล็กกับสวิทช์มาตรงกันก็จะมีสัญญาณกระตุ้นให้เครื่องคาล์อิกเกอร์ทำการอ่านค่าสัญญาณจากพีเอชเอสฟิลด์อานาไลเซอร์หนึ่งครั้ง แล้วส่งค่าระดับสัญญาณที่อ่านได้ไปเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ไปโดยโปรแกรมเชื่อมต่อจะทำหน้าที่รับค่าสัญญาณจากเครื่องคาล์อิกเกอร์และบันทึกข้อมูลลงฮาร์ดดิสก์

#### 4.3.5 ฮาร์ดดิสก์

ฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) ทำหน้าที่เป็นที่เก็บข้อมูลของระดับสัญญาณที่วัดได้ การเก็บลงในฮาร์ดดิสก์ โดยโปรแกรมเชื่อมต่อกับเครื่องคาล์อิกเกอร์นี้จะบันทึกข้อมูลในรูปแบบเท็กซ์โหมดเมื่อต้องการนำข้อมูลมาวิเคราะห์สามารถที่จะโปรแกรมประเภทเวิร์ด โพรเซสเซอร์ (Word Processor) เปิดขึ้นมาดูได้

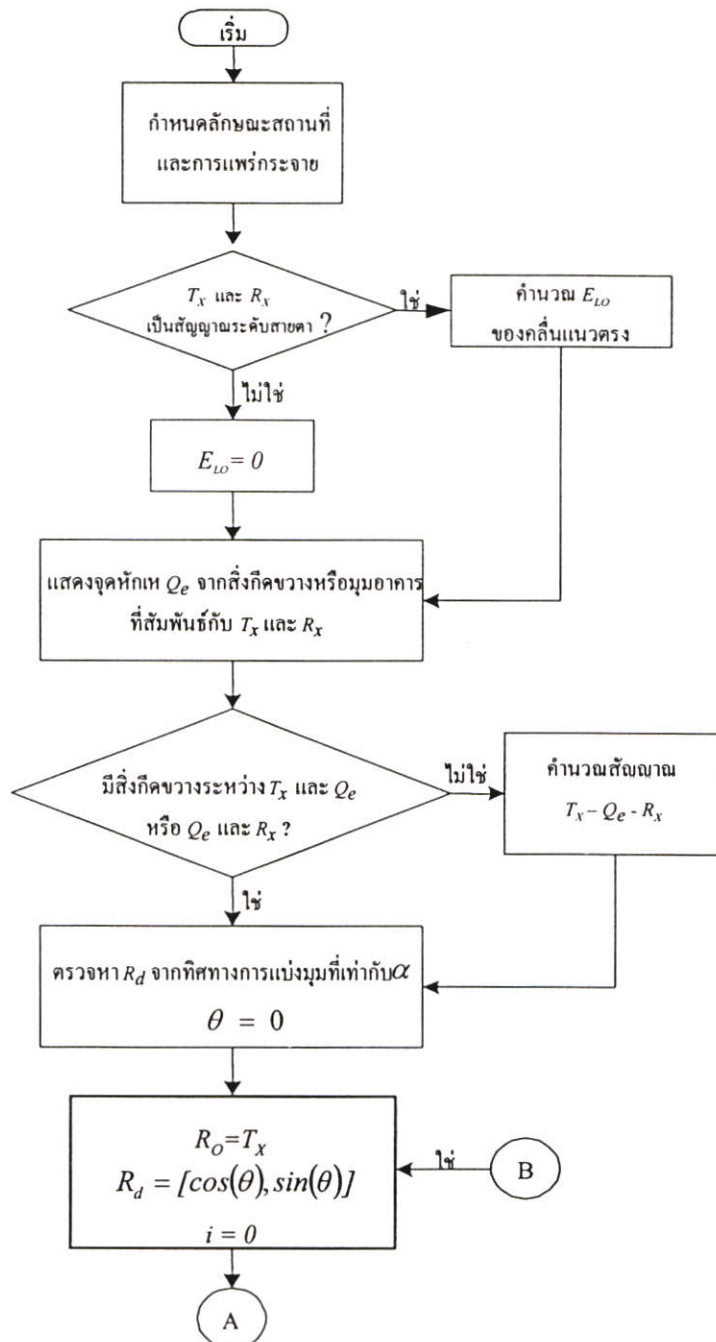
### 4.4 ผลการทดลอง

การทดลองนี้ได้ออกแบบโปรแกรมเพื่อคำนวณขอบเขตพื้นที่สถานีเซลล์ PCT โดยการใช้เทคนิค ray tracing และ UTD จากการใช้พารามิเตอร์เหล่านี้:

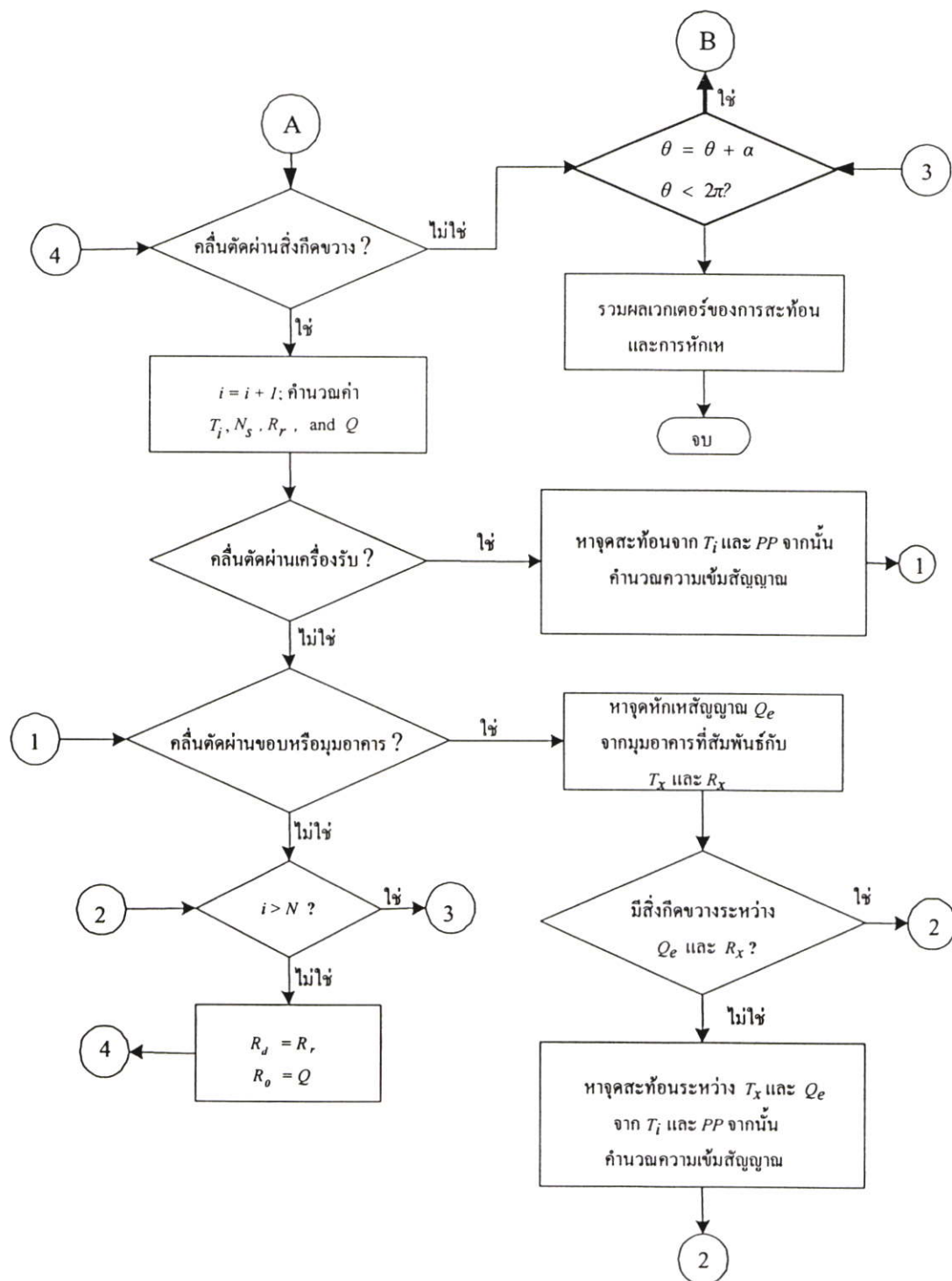
1. ความถี่ย่าน 1900 MHz
2. ความสูงสถานีเซลล์ 5 เมตร
3. ความสูงของเครื่องโทรศัพท์ PCT 1.5 เมตร
4. เพอร์มิตติวิตี ( $\epsilon$ ) เท่ากับ 15 และคอนดักแตนซ์ ( $\sigma$ ) เท่ากับ 7 S/m ตามลำดับ

ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ทำการวิเคราะห์หาค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายจะใช้ Visual Basic version 5.0 ลักษณะการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5

UTD ใช้สำหรับพิจารณาที่ละสัญญาณที่ทุกๆ จุดก่อนจะรวมคลื่นการสะท้อนและการเลี้ยวเบนเข้าด้วยกัน หลังจากที่ได้ค่าเหล่านี้แล้วก็จะนำไปคำนวณค่าการสูญเสียที่เกิดจากการแพร่กระจาย



รูปที่ 4.4 ลำดับขั้นของโปรแกรม



รูปที่ 4.5 ลำดับขั้นของโปรแกรม (ต่อ)

การทดลองนี้พิจารณาสถานะแวดล้อมที่แยกสุทธิสารบนถนนรัชดา โดยออกแบบพื้นที่ โดยกำหนดให้พื้นที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม ถนนเป็นเส้นตรงยาวและตัดกันเป็นมุมฉาก ลักษณะอาคารมีลักษณะเป็นคูหาบล็อกสี่เหลี่ยมและมีความสูงเท่ากันที่ 12 เมตรในทุกเส้นทางและมีความกว้างของถนนหลัก 15 เมตร ความกว้างของถนนที่ตั้งฉากกับถนนหลัก 8 เมตรและความกว้างของ

ถนนที่ขนานกับถนนหลัก 4 เมตร โดยเฉพาะการวัดความเข้มสัญญาณที่พื้นที่ เลือกพารามิเตอร์จากเมนูบนโปรแกรมคำนวณเส้นทางสัญญาณด้วยหลักการแสดงตำแหน่งสัญญาณ สมการคลื่นคือ  $\hat{R}(\rho) = \hat{R}_0 + \hat{R}_d \cdot \rho$  ที่ซึ่ง  $R_0$  คือเวกเตอร์ที่จุดเริ่มต้น  $R_d$  คือยูนิตเวกเตอร์ของทิศทางคลื่น และ  $\rho (\rho > 0)$  คือระยะทางจากจุดเริ่มต้น เส้นทางสัญญาณถูกพิจารณาด้วยมุม 360 รอบจุดเริ่มต้น และระดับสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์พกพาส่วนบุคคลพีซีที่ยังสามารถใช้งานได้จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 25 dB $\mu$ V หรือที่เรียกว่าระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์เอท ดังนั้นในการทดลองที่กำลังเครื่องส่งที่ 200 W นี้จะต้องมีการสูญเสียจากการแพร่กระจาย (Propagation Loss) ในหน่วยเดซิเบล คือ  $\leq 105.01$  dB

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายที่ได้จากการคำนวณและจากการวัด

distance form cell (meter)	Propagation Loss (dB)	
	UTD	Measurement
10	63.01	61.40
15	58.24	61.55
20	63.01	61.71
25	58.24	61.87
30	60.00	62.04
35	61.25	62.22
40	66.02	62.41
45	63.01	62.40
50	64.88	62.77
55	66.48	62.80
60	67.57	63.23
65	69.12	63.47
70	66.99	63.72
75	67.04	63.98
80	65.23	64.28
85	70.11	64.88
90	68.24	65.26
95	70.11	66.06

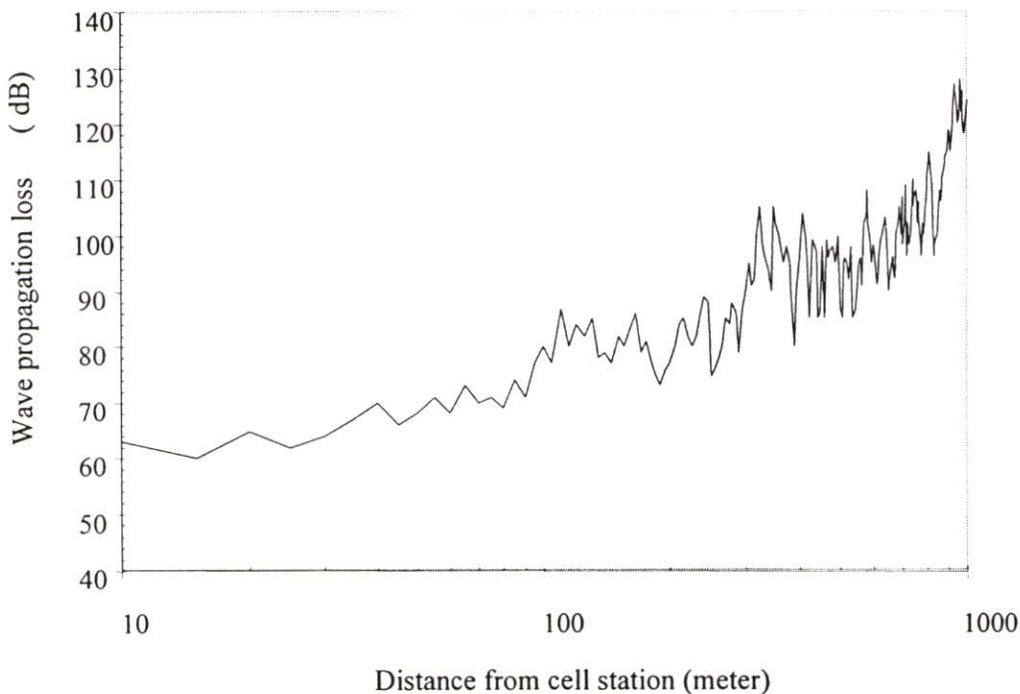
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายที่ได้จากการคำนวณและจากการวัด (ต่อ)

distance form cell (meter)	Propagation Loss (dB)	
	UTD	Measurement
100	76.48	66.53
105	71.40	67.04
110	83.01	67.63
115	76.02	68.31
120	79.03	69.12
125	77.57	68.87
130	80.00	68.62
135	73.01	68.38
140	74.26	68.13
145	72.22	67.88
150	75.23	67.63
155	74.26	68.24
160	79.03	68.31
165	73.98	69.12
170	76.48	70.22
175	73.23	69.12
180	73.01	70.58
185	73.23	70.35
190	70.34	70.35
195	77.57	71.40
200	71.71	71.71
205	77.57	71.25
210	82.40	71.55
215	73.01	72.04
220	73.23	72.04
225	83.01	75.61
230	82.60	77.70

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบค่าการสูญเสียจากการแพร่กระจายที่ได้จากการคำนวณและจากการวัด (ต่อ)

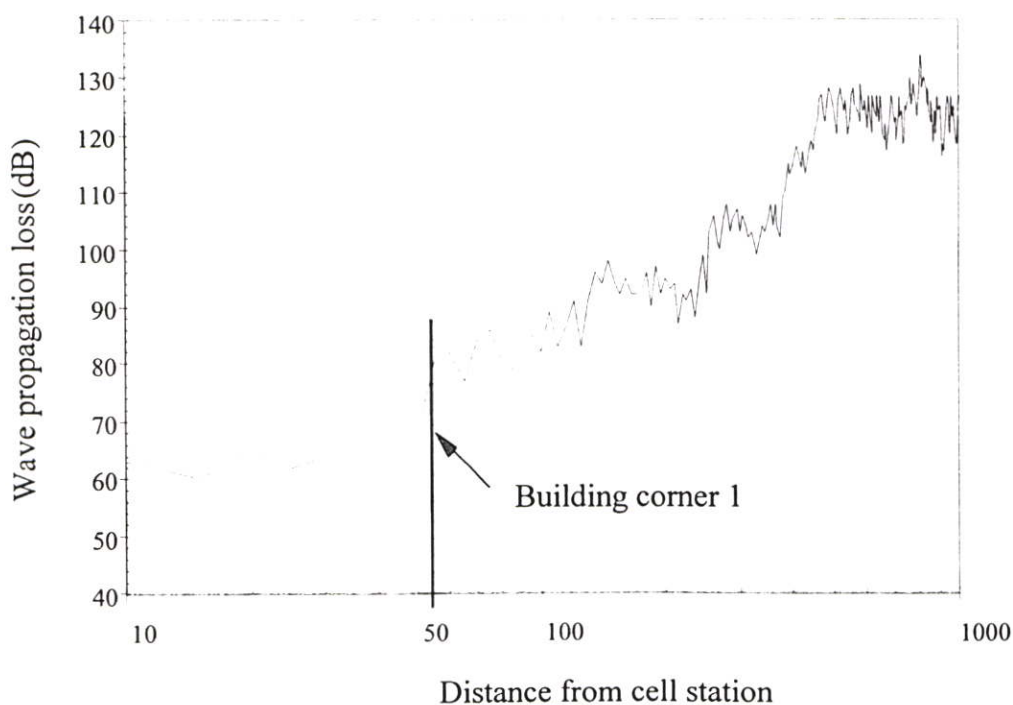
distance form cell (meter)	Propagation Loss (dB)	
	UTD	Measurement
235	76.02	78.86
240	77.96	79.89
245	78.70	81.55
250	84.26	81.55
255	75.61	87.16
260	77.27	90.00
265	78.39	89.12
270	85.61	87.82
275	80.34	87.04
280	99.39	89.39
285	98.03	93.98
290	100.34	97.96
295	103.01	99.39
<u>300</u>	97.27	<u>104.44</u>
305	100.97	105.61
<u>310</u>	<u>104.26</u>	107.57
315	113.01	108.24
320	106.99	100.84
325	123.01	111.25
330	103.72	110.00

จากตาราง (4.3) จะเห็นค่าการสูญเสียการแพร่กระจายที่ยังสามารถติดต่อสื่อสารได้ (ไม่เกิน 105.01 dB) จากการคำนวณอยู่ที่ 310 เมตร คือ 104.26 dB และจากการวัดอยู่ที่ 300 เมตร คือ 104.44 dB ระดับสัญญาณจากการคำนวณการสูญเสียจากการแพร่กระจายสัญญาณแสดงดังรูป 4.6, 4.7 และ 4.8



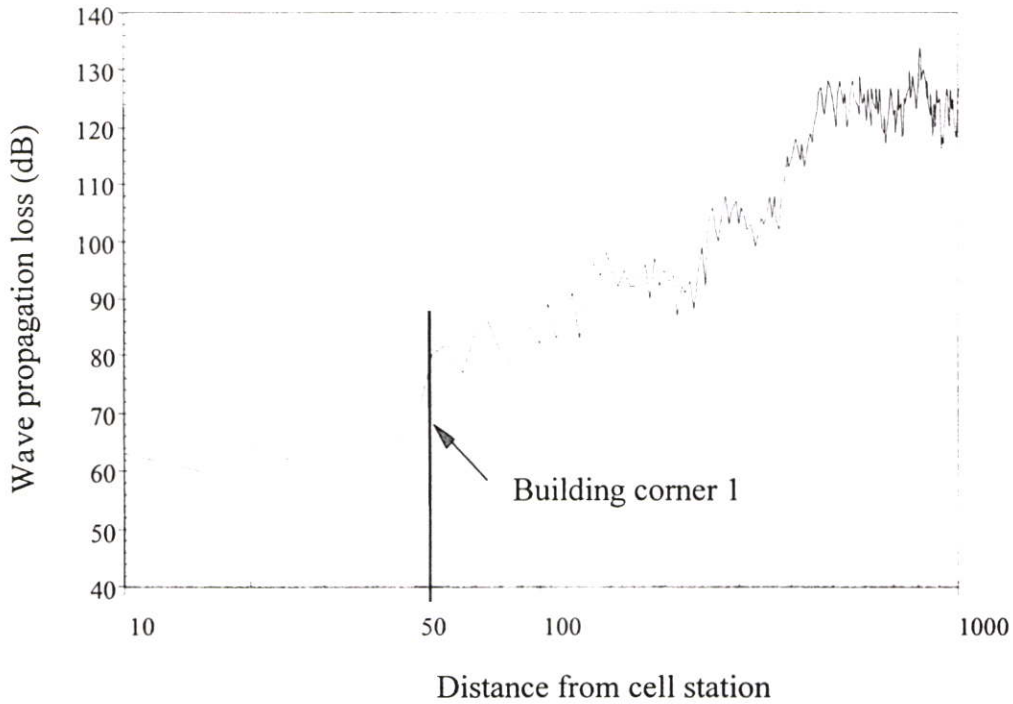
รูปที่ 4.6 การสูญเสียจากการแพร่กระจายบนถนนหลัก

รูปที่ 4.6 แสดงการสูญเสียจากการแพร่กระจายบนเส้นทางไม่มีสิ่งกีดขวางหรือ line-of-sight (LOS) ของถนนที่สถานีเซลล์ติดตั้งอยู่ การสูญเสียสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่นจะขึ้นอยู่กับคลื่นที่ตรงและสะท้อน ผลกระทบของค่าอื่นๆ มีค่าน้อยมากดังนั้นการแพร่กระจายคลื่นของสถานีเซลล์ 200 mW จะเท่ากับ 310 เมตร



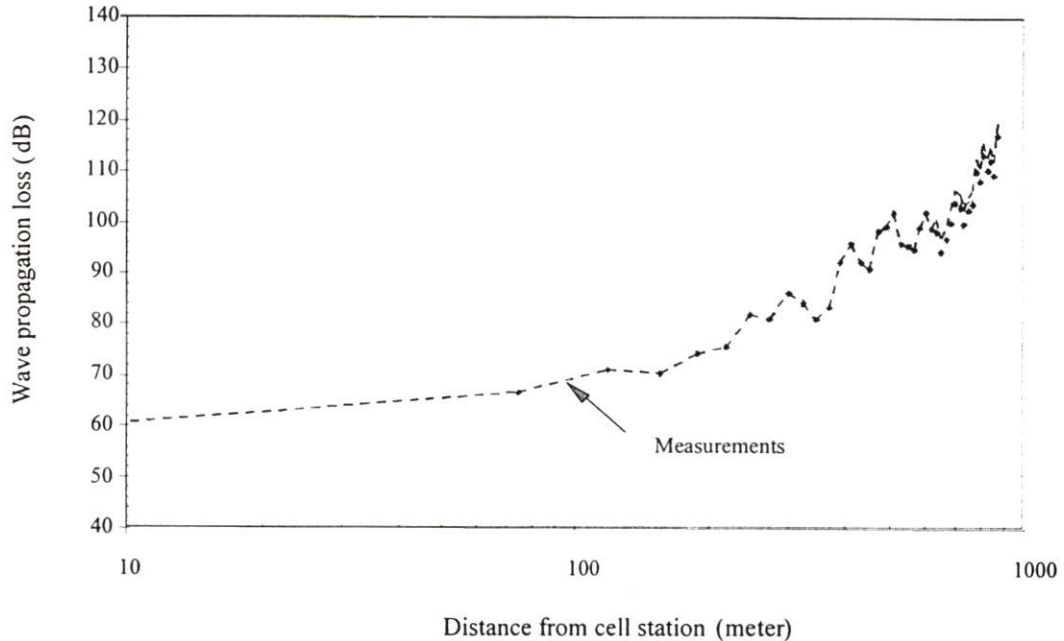
รูปที่ 4.7 การสูญเสียจากการแพร่กระจายที่ถนนย่อยที่ตั้งฉากกับถนนหลัก

รูปที่ 4.7 แสดงการสูญเสียจากการแพร่กระจายบนถนนย่อยที่ตั้งฉากกับถนนหลัก เส้นทางสัญญาณประกอบด้วย line-of-sight และเส้นทางกีดขวางจากมุมอาคารที่ระยะทาง 50 เมตร การสูญเสียสัญญาณจะเพิ่มขึ้นที่ส่วนตั้งฉากของถนน หรือที่มุมอาคาร Building corner 1 ซึ่งเป็นเพราะการสะท้อนและการเลี้ยวเบนจากมุมอาคาร

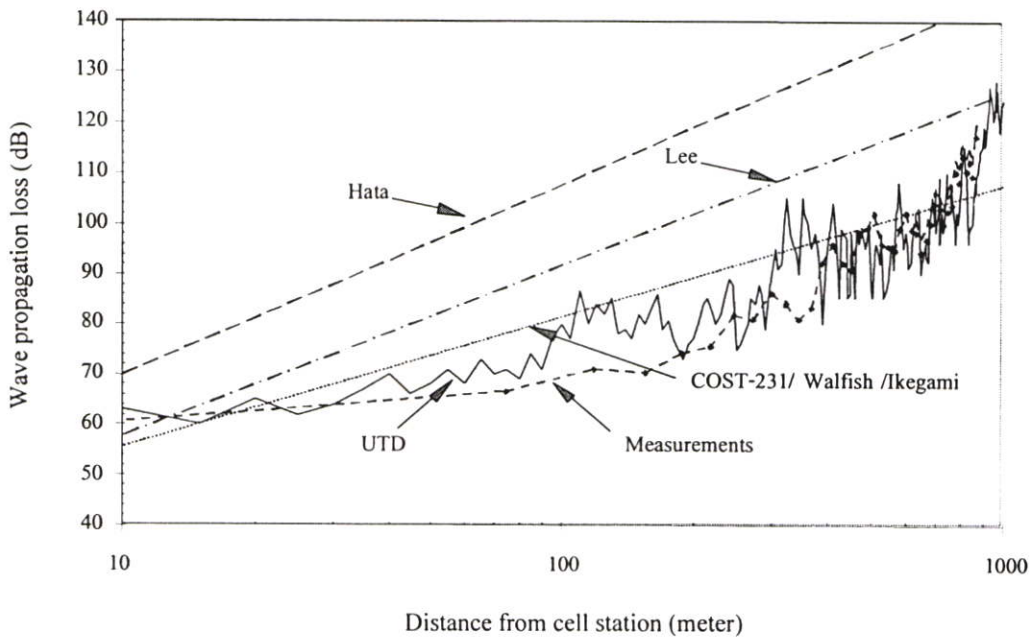


รูปที่ 4.8 การสูญเสียเนื่องจากการแพร่กระจายที่ถนนย่อยที่ขนานกับถนนหลัก

รูปที่ 4.8 แสดงการสูญเสียจากการแพร่กระจายบนถนนย่อยที่ขนานกับถนนหลัก เส้นทางสัญญาณประกอบด้วย line-of-sight และเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวางดังรูปที่ 4.8 และการสูญเสียสัญญาณที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากสิ่งกีดขวางที่เพิ่มขึ้น

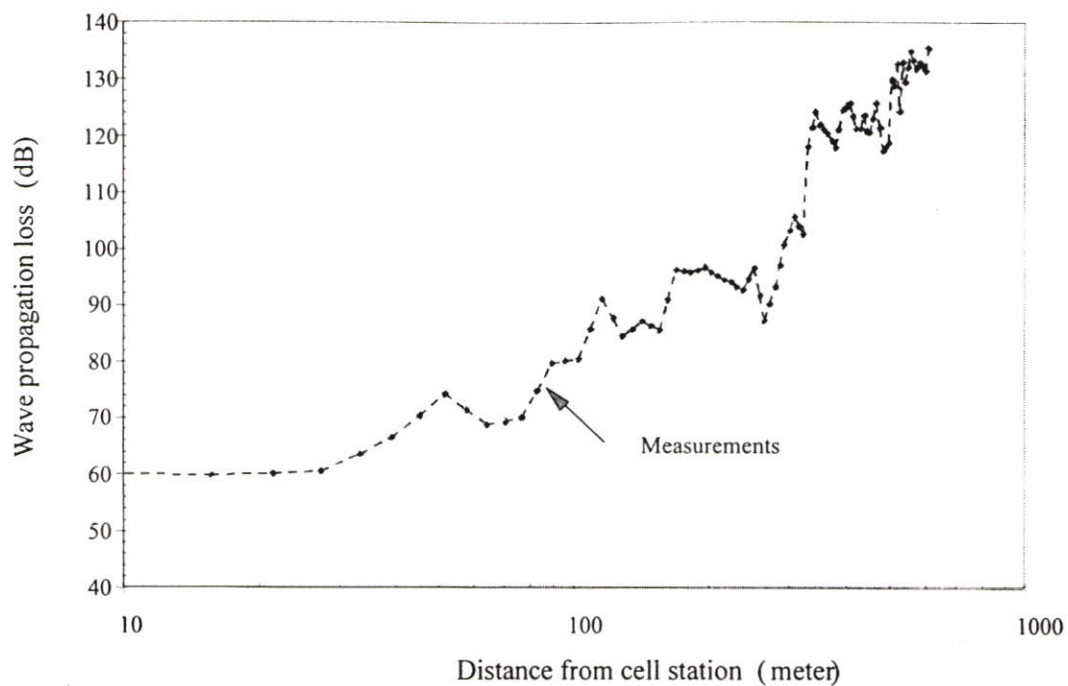


รูปที่ 4.9 ระดับผลการวัดการสูญเสียจากการแพร่กระจายบนถนนหลัก

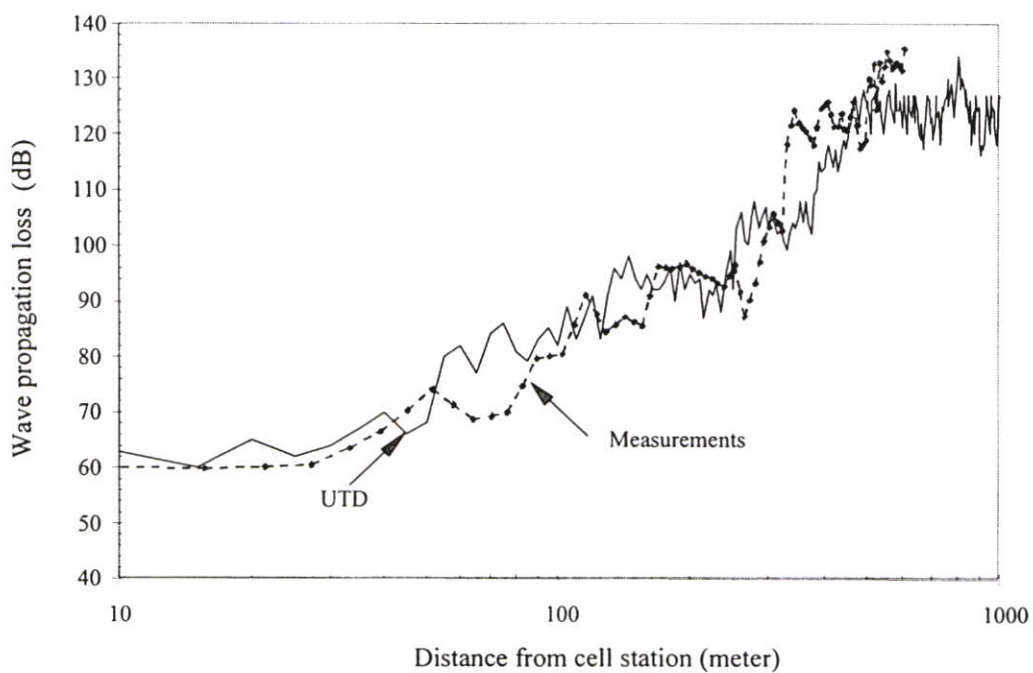


รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบการสูญเสียจากการแพร่กระจายระหว่างการคำนวณและการวัดบนถนนหลัก

รูปที่ 4.10 แสดงการสูญเสียจากการแพร่กระจาย ซึ่งคำนวณจากโปรแกรมโดยการใช้หลักการ ray tracing และ UTD; ซึ่งใกล้เคียงกับการวัดที่สภาวะแวดล้อมจริง ซึ่งดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ โมเดล Hata, Lee และ COST 231/Walfish/Ikegami

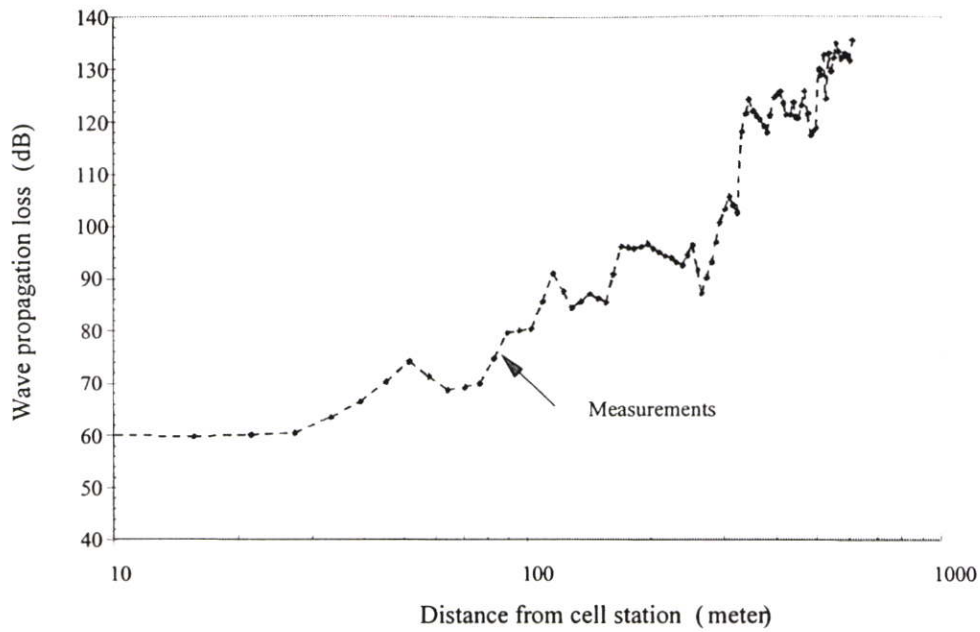


รูปที่ 4.11 ระดับผลการวัดการสูญเสียจากการแพร่กระจายบนถนนย่อยที่ดึงฉาก

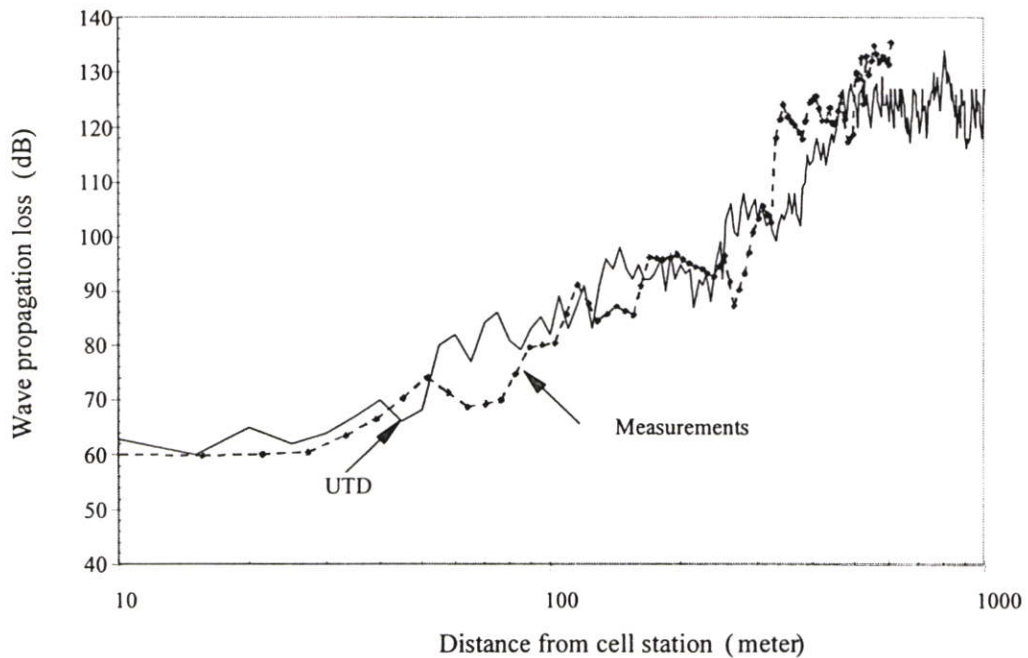


รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบการสูญเสียจากการแพร่กระจายระหว่างการคำนวณและการวัดบนถนนย่อยที่ดึงฉาก

รูปที่ 4.12 และ 4.14 แสดงการสูญเสียจากการแพร่กระจาย ซึ่งคำนวณจากโปรแกรม โดยการใช้หลักการ ray tracing และ UTD เปรียบเทียบกับการวัดที่สถานะแวดล้อมจริง



รูปที่ 4.13 ระดับผลการวัดการสูญเสียจากการแพร่กระจายบนถนนย่อยที่ขนานกับถนนหลัก



รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบการสูญเสียจากการแพร่กระจายระหว่างการคำนวณและการวัดบนถนนย่อยที่ขนานกับถนนหลัก

ผลจากการคำนวณใกล้เคียงกับการวัดด้วยที่รัศมี 310 เมตร การวัดได้คือ 300 เมตร คิดเป็นค่าความคลาดเคลื่อน 3.33 % ดังนั้นโปรแกรมนี้สามารถใช้คำนวณขอบเขตการครอบคลุมพื้นที่ ซึ่งรัศมีของการแพร่กระจายคลื่นสามารถใช้สำหรับการพิจารณาดำเนินการติดตั้งสถานีเซลล์ นั่นคือระยะทางระหว่างสถานีเซลล์จะเท่ากับรัศมีของการแพร่กระจายคลื่น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] มนูญ ขวัญสูงเนิน. ความรู้เกี่ยวกับโครงข่ายโทรศัพท์ที่บ้านพกพา (**Personal Communication Telephone Network Introduction**). Telecom Training and Development Co.,LTD (TT&D). 1997
- [2] Moungnoul P., Tangtisanon P. and Paungma T. “**Cell Station Design for Personal Communication Telephone.**” Proc. The 6<sup>th</sup> IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing and Communication System (ISPACS'98), vol. 2, November 1998.
- [3] ณีฐกรกมล นามเมือง. “การคำนวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ในระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคลพีซีที.” NECTEC Technical Journal, ปีที่ 4, ฉบับที่ 13, มีนาคม-มิถุนายน 2546. หน้า 281-288.
- [4] Vijay K. Gargand Joseph E. Wikes. **Wireless and Personal Communication System.** Prentice Hall PTR. 1996.
- [5] ETR 015. “**DECT reference document.**” ETSI, March 1991.
- [6] S. Ghaheri Niri, R. Tafazoli. B.G. Evans. “**Wide Area Mobility for DECT.**” IEEE Global Telecommunication Conference, vol.2, Nov.1996. pp. 1119-1125.
- [7] TR 056. “**DECT System description.**” ETSI, July 1993.
- [8] Bell Communication Research (Bell Core). **Comparison of Low Power Wireless Access System: PACS PHS and DECT for Public Environment.** 1996.
- [9] Nippon Telegraph and Telephone Corporations (NTT). **Personal Handy-phone and the VI&P Concept.** 1995.
- [10] NEC Corporation. “**PHS Cell Station Instruction Manual.**” 1<sup>st</sup> Edition, December 1996
- [11] Helgert H.J. **Integrated Service Digital Network.** Addison-Wesley. 1991
- [12] CCITT, **Recommendation I serier.** Geneva : ITU, 1989.
- [13] Ministry of Posts & Telecommunications (MPT) Japan. **Personal Handy-phone System Guidebook.** 1995.
- [14] CCITT, **Recommendation Q.700 serier.** Geneva : ITU, 1989.
- [15] Association of Radio Industries and Businesses (ARIB). **Personal Handy-phone System ARIB Standard.** Version 3.2. February. 1999.

- [16] Sampei S. **Application of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications**. Prentice Hall. 1997.
- [17] ITU-T. **Recommendation G726, 40, 32, 16 kbit/s Adaptive Differential pulse Code Modulation (ADPCM)**. 1990.
- [18] Okumura Y., Ohmori E., Kawano T. and Fukuda K. “**Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land Mobile Service.**” Review of Electrical Communication Laboratory, Vol. 16, No. 9-10, September-October 1968. PP. 825-73.
- [19] Hata M. “**Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Service.**” IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. VT-29, August 1990. pp. 317-325.
- [20] Simon R. Saunders. **Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems**. John Wiley & Sons Ltd., 1999
- [21] F. Ikegami, T. Takeuchi and S. Yoshida. “**Theoretical Prediction of Mean Field Strength for Urban Mobile Radio.**” IEEE Trans. Ant. Prop., vol. 3, no. 39, 1977. pp. 299-302.
- [22] Bernard S. “**Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication System Part I: Characterization.**” IEEE Communications Magazine, Vol. 35, July 1997. pp. 90-93.
- [23] Catedra, Manuel F. **Cell Planning for Wireless Communications**. Boston : Artech House, Inc. 1999.
- [24] Jorgen B. A., Theodore S. R. and Susumu Y. “**Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels.**” IEEE Communication Magazine, January 1995. pp.44-46.
- [25] S.Y. Tan and H.S. Tan, “**A Microcellular Communications Propagation Model Based on the Uniform Theory of Diffraction and Multiple Image Theory,**” IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 44, No. 10, pp. 1317-1326, October 1996
- [26] S.Y. Tan and H. S. Tan, “**UTD Propagation Model in an Urban street Scene for Microcellular Communications**” IEEE Trans on Electromagnetic Compatibility, Vol. 35, No, 4, pp. 423-428, November 1993.
- [27] D.A. McNamara, C.W.I. Pistorius, and J.A.G. Malherbe, “**Introduction To The Uniform Geometrical Theory of Diffraction**”. Boston, MA: Artech House, 1990, pp. 69-70 and 265-268.

- [28] T. Iwama and M. Mizuno, "**Prediction Propagation Characteristics for Microcellular Land Mobile Radio,**" in Proc. Int. Symp. Antennas Propagat., Sapporo, Japan, 1992, pp. 421-424.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายไพโรจน์ กันทะนัน  
วัน เดือน ปีเกิด 12 กุมภาพันธ์ 2522 ที่จังหวัดลำพูน  
ที่อยู่ 225 หมู่บ้านห้วยบง ถนนสี่-ลำพูน ตำบลศรีวิชัย อำเภอสี่ จังหวัดลำพูน  
51110  
ประวัติการศึกษา 2544 อดิศาสตร์ศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์  
พ.ศ.2548 P. Moungnoul, P. Kanthanan, T. Paungma, P. Anunvrapong,  
“Comparison between measurement and prediction propagation model  
for PCT system” Proceedings ISCIT 2005, Volume 2, 12-14 Oct 2005  
Page(s):1114 – 1117.