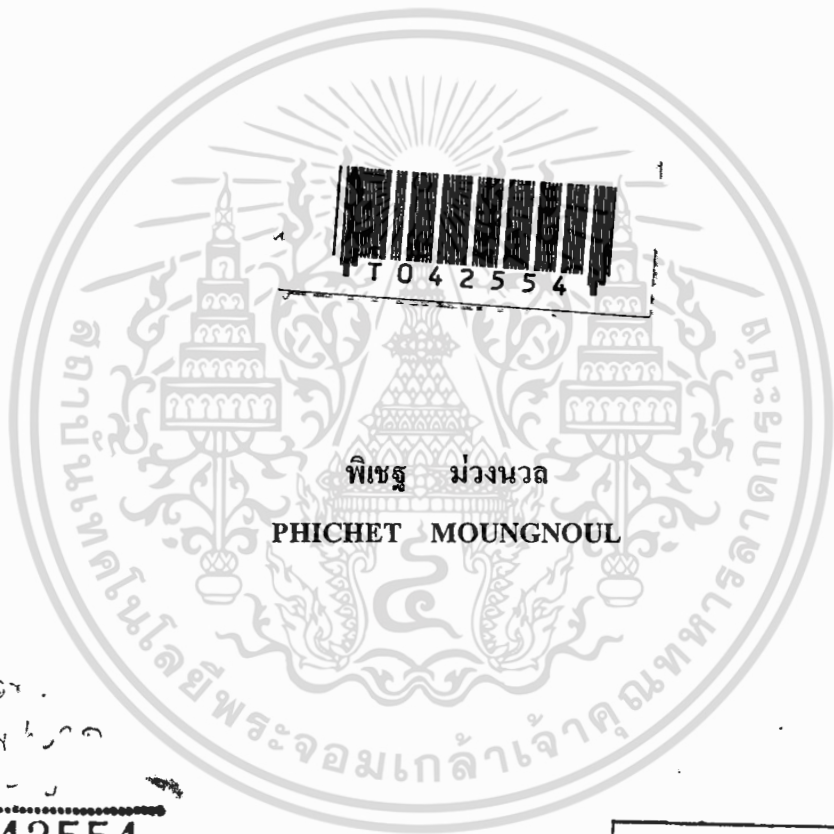


การหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางเซลล์สเตชันสำหรับ  
ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

ALLOCATION OF CELL STATION PLACEMENT FOR  
PERSONAL COMMUNICATION TELEPHONE SYSTEM



พิเชฐ ม่วงนวล  
PHICHET MOUNGNOUL

เลขหม.....  
เลขทะเบียน..... 42554  
วัน, เดือน, ปี..... 1 พ.ศ. 2545

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ISBN 974-648-486-9

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ALLOCATION OF CELL STATION PLACEMENT FOR  
PERSONAL COMMUNICATION TELEPHONE SYSTEM**



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

**2001**

**ISBN 974 -648 - 486 - 9**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2001**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางเซลล์สเตชันสำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีที
นักศึกษา	นายพิเชฐ ม่วงนวล
รหัสประจำตัว	40060202
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2544
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ถวิล พึ่งมา

### บทคัดย่อ

การออกแบบการวางเซลล์ในโครงสร้างแบบมินิเซลล์นั้น นับว่ามีความสำคัญและละเอียดอ่อนมาก เพราะเซลล์มีขนาดเล็กสามารถกระจายคลื่นได้ในระยะทางเพียงไม่กี่ร้อยเมตรเท่านั้น การคำนวณขนาดของเซลล์ที่ผิดพลาดจะทำให้คุณภาพของระบบเสียไป เช่น มีจุดบอดของสัญญาณมากในกรณีที่วางเซลล์ห่างเกินไป หรืออาจสิ้นเปลืองเซลล์มากในกรณีที่วางเซลล์ถี่เกินไป วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอวิธีการออกแบบการวางเซลล์ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีที โดยคำนวณหาตำแหน่งเซลล์ที่เหมาะสม ด้วยการนำเอาการสูญเสียของสัญญาณในย่าน 1900 MHz มาใช้ร่วมกับค่าต่างๆ เช่น กำลังส่งของเซลล์ ความไวในการรับของเครื่องโทรศัพท์พีซีที ระดับของสัญญาณที่ใช้สำหรับการข้ามเซลล์ รวมทั้งความสูงในการติดตั้งสถานีเซลล์ด้วย ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณเมื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจะพบว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก บางส่วนที่แตกต่างจะกล่าวถึงในส่วนสรุปและวิจารณ์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

<b>Thesis Title</b>	Allocation of Cell Station Placement for Personal Communication Telephone System
<b>Student</b>	Mr. Phichet Moungnoul
<b>Student ID.</b>	40060202
<b>Degree</b>	Doctor of Engineering
<b>Programme</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2001
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Tawil Paungma

### ABSTRACT

The cell station layout in the minicell system is very important and sensitive due to the small cell site coverage area. If the design is error, it will affect the quality of the system, such as blind spots between cell stations if they are too far apart or wasted cell station when their vicinity is too close. The cell station coverage planning in the Personal Communication Telephone (PCT) system was described. The distance between cell stations was calculated based on factors such as the propagation path loss in the 1900 MHz frequency band, cell station transmitted power, sensitivity of personal station, handover level and height of cell stations. The deviation of the calculated from experimentally derived results was discussed in this thesis.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถจัดทำสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ก็เพราะได้รับความเมตตากรุณา จาก รศ. ดร. ถวิล พึ่งมา รศ. ดร. กอบชัย เดชหาญ และ ศ. มนูญ สุขเกษม ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำมาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากทุกท่านเป็นอย่างมาก รวมทั้งครู อาจารย์ทุกๆ ท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ที่ได้ให้ความรู้ในการศึกษาระดับต่างๆ ข้าพเจ้าขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่เพียว คุณป้าจ่านงค์ ที่ให้โอกาสและสนับสนุนในด้านการ ศึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด จนกระทั่งได้สำเร็จการศึกษาในระดับนี้

ขอขอบคุณ Japan International Cooperation Agency (JICA) ที่สนับสนุนเครื่องมือและผู้ เชี่ยวชาญให้คำปรึกษาในการทำวิจัย เงินทุนในการเดินทางไปทำวิจัยและเสนอผลงานในต่าง ประเทศ

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ ทุนอุดหนุนการจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท เทเลคอมเอเชีย จำกัด(มหาชน) ที่ช่วยสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือ วัดและพนักงานในการเก็บข้อมูลการวัด ทำให้ทดลองต่างๆ เสร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณน้องๆทุกคน ในห้องวิจัย Mobile Communication ที่ช่วยในการตรวจเทียบและ แก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายขอขอบคุณ คุณศิริพร ที่สละเวลาของครอบครัว คอยดูแลและให้กำลังใจในระหว่าง การศึกษามาโดยตลอด

พิเชฐ ม่วงนวล

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VII
สารบัญรูป .....	VIII
คำย่อและสัญลักษณ์ .....	XII
บทที่ 1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	6
1.3 ทฤษฎีแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย .....	7
1.4 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	8
บทที่ 2. ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที.....	9
2.1 บทนำ.....	9
2.2 โครงสร้างของระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที.....	9
2.2.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ.....	9
2.2.2 โครงข่ายอัญริยะ.....	11
2.2.3 โครงข่ายโทรศัพท์ PHS.....	12
2.3 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที.....	15
2.3.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อ.....	15
2.3.2 ความถี่ใช้งาน.....	15
2.3.3 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงและการมัลติเพล็กซ์ของสัญญาณ.....	16
2.3.4 วิธีการมอดูเลตสัญญาณ.....	17
2.3.5 การข้ามเซลล์ในระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที.....	17
2.3.6 ระบบโปรโตคอลในระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที .....	19
2.3.7 รายละเอียดของสถานีเซลล์และเครื่องลูกข่าย.....	20
2.3.8 สายอากาศของเซลล์ระบบ โทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคลพีซีที.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที.....	21
<b>บทที่ 3. ทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น.....</b>	<b>26</b>
3.1 กลไกของการแพร่กระจายคลื่น.....	26
3.1.1 การสะท้อนของคลื่น.....	27
3.1.2 การเลี้ยวเบนของคลื่น.....	29
3.1.3 การกระเจิงของคลื่น.....	32
3.2 หลักการแพร่กระจายคลื่น.....	33
3.3 โมเดลของการแพร่กระจายคลื่น.....	36
3.4 โมเดลการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นของเซลล์.....	37
3.4.1 โมเดลของ Okumura .....	37
3.4.2 โมเดลของ Okumura-Hata.....	40
3.4.3 โมเดล COST 231-Hata.....	41
3.4.4 โมเดล Lee.....	41
3.4.5 โมเดล McGeehan and Griffiths.....	42
3.4.6 โมเดล Atefi และ Pason.....	42
3.4.7 โมเดล Ikegami.....	43
3.4.8 โมเดล Walfisch and Bertoni.....	44
3.4.9 โมเดล Xia และ Bertoni.....	45
3.4.10 โมเดล COST-231-Walfisch-Ikegami Model.....	46
3.5 รูปแบบของสัญญาณรับ-ส่งระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ.....	47
3.5.1 การเฟดดิ้งระยะยาว.....	48
3.5.2 การเฟดดิ้งระยะสั้น.....	49
3.5.3 การกระจายแบบเรย์ลีย์และแบบรีเซียน.....	50
3.5.3.1 การกระจายแบบเรย์ลีย์.....	50
3.5.3.2 การกระจายแบบรีเซียนเฟดดิ้ง.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4. การออกแบบเพื่อวางตำแหน่งเซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพา	
บุคคลพีซีที.....	54
4.1 บทนำ.....	54
4.2 การหาตำแหน่งเพื่อวางเซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพา	
บุคคลพีซีที.....	54
4.2.1 สมการการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ.....	57
4.2.2 การเฟดดิ้งของสัญญาณในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที.....	62
4.2.2.1 การวิเคราะห์การเฟดดิ้งในเชิงสถิติ.....	63
4.2.2.2 การหาค่าเฟดดิ้งแพคเตอร์.....	70
4.2.3 การติดตั้งเซลล์ในพื้นที่ต่างๆ.....	71
บทที่ 5. การทดสอบและผลที่ได้จากการทดสอบ.....	71
5.1 บทนำ.....	71
5.2 การทดสอบการเดินใช้งานบริเวณริมถนน.....	77
5.2.1 การทดสอบในพื้นที่ชานเมือง.....	77
5.2.2 การทดสอบในพื้นที่ชนบท.....	79
5.2.3 การทดสอบในเขตพื้นที่เมือง.....	80
5.3 การทดสอบการใช้งานเคลื่อนที่ในรถยนต์.....	81
5.4 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน.....	84
บทที่ 6. บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	87
5.1 บทสรุป.....	87
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ.....	89
บรรณานุกรม.....	91
ประวัติผู้เขียน.....	94
ผลงานที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์.....	94

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การแบ่งขนาดของเซลล์.....	2
1.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล.....	3
2.1 แสดงการใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์ PHS .....	14
4.1 รายละเอียดข้อมูลและการคำนวณจากสมการ (4.19) .....	70
6.1 ระยะห่างในการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 4 dBi .....	87
6.2 ระยะห่างในการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 7 dBi .....	87
6.3 ระยะห่างในการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 9 dBi .....	88
6.4 ระยะห่างในการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 4 dBi .....	88
6.5 ระยะห่างในการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 7 dBi .....	89
6.6 ระยะห่างในการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 9 dBi .....	89

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีที	4
1.2 เปรียบเทียบระยะทางของเซลล์ ระบบ PHS กับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีที	5
1.3 ลักษณะการติดตั้งสถานีเซลล์แบบ 2 แคนเรียร์ต่อพื้นที่	8
2.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีที	10
2.2 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ	10
2.3 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะธรรมดา กับ โครงข่ายสาธารณะที่ทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะ	11
2.4 ลักษณะการบริการโทรศัพท์ PHS	12
2.5 โครงข่ายโทรศัพท์ PHS	13
2.6 การเชื่อมต่อระหว่าง PS กับ CS และ CS กับ PHS Server	16
2.7 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด	16
2.8 การจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD	17
2.9 ระดับของสัญญาณที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ข้ามเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง	18
2.10 การแฮนด์โอเวอร์ทั้ง 3 แบบ ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีที	19
2.11 โปรโตคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดของสัญญาณควบคุม	20
2.12 ลำดับการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีที	21
2.13 โปรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง	22
2.14 โปรโตคอลของการกลับมาใช้เซลล์เดิมเมื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ไม่สำเร็จ	23
2.15 สถานีเซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีที	24
2.16 เครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีที	24
2.17 แสดงสายอากาศแบบ 2 dBi 4 dBi 7 dBi และ 9 dBi	25
2.18 การเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออกจากโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีที	25
3.1 การสะท้อนของคลื่น	26
3.2 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก	28
3.3 หลักการของ Huygen	30
3.4 การหักเหของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen.....	30
3.6 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิก.....	34
3.7 ค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการลดทอนสัญญาณ $A(f,d)$ .....	38
3.8 ค่าอัตราการขยายกำลังจากผลความสูงของสายอากาศส่ง.....	38
3.9 ค่าอัตราการขยายกำลังจากผลความสูงของสายอากาศรับ.....	39
3.10.. ค่าแฟคเตอร์ $G(\text{AREA})$ ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของ $A(f,d)$ .....	39
3.11 สภาพแวดล้อมและทิศทางของคลื่นของ โมเดล Ikegami .....	43
3.12 สภาพแวดล้อมและทิศทางของคลื่น .....	44
3.13 ตัวอย่างสัญญาณการเฟดดิ้งของคลื่นวิทยุ.....	48
3.14 มัลติพาทเฟดดิ้ง (a) สิ่งก่อสร้างแบบกระจัดกระจาย (b) สิ่งก่อสร้างแบบหนาแน่น.....	49
3.15 เอนเวโลปของสัญญาณที่เฟดดิ้งแบบเรย์ลีย์ที่ความถี่ 900 MHz.....	50
3.16.. ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของความหนาแน่น (CDF) ของการกระจายแบบเรย์ลีย์.....	51
3.17 การกระจายของเฟดดิ้งทั้ง 3 พื้นที่ ที่ได้จากการวัด รวมทั้งการกระจายแบบเรย์ลีย์ รีเซียนและล็อกนอร์มอล.....	51
3.18 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการกระจายแบบรีเซียน โดยที่ $K = -\infty$ (เรย์ลีย์) และ $K=6 \text{ dB}$ สำหรับ $K \geq 1$ ค่า PDF จะใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยเกาส์เซียน.....	53
4.1 เครื่องมือวัดค่าระดับสัญญาณที่ใช้ในการวัด .....	55
4.2 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นที่เมือง (ถนนสี่ลม) กับการคำนวณ โดยโมเดล COST231-Hata และ โมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free space.....	55
4.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นที่ชานเมือง (ถนนรัชดาภิเษก) กับการคำนวณ โดยโมเดล COST231-Hata และ โมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free space.....	56
4.4 โดยโมเดล COST231-Hata และ โมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free space.....	56
4.5..ผลที่ได้จากการวัดใน 3 พื้นที่กับเส้นกราฟ ที่ลากที่ค่าเฉลี่ยของผลการวัด.....	59
4.6 ค่าการลดทอนจากระยะทางจากรูปที่ 4.5.....	59
4.7 ผลการวัดทดสอบเซลล์ในพื้นที่ต่างๆเมื่อเซลล์ใช้สายอากาศอัตราขยาย 4 dBi.....	61
4.8 ผลการวัดทดสอบเซลล์ในพื้นที่ต่างๆเมื่อเซลล์ใช้สายอากาศอัตราขยาย 7 dBi.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ผลการวัดทดสอบเซลล์ในพื้นที่ต่างๆเมื่อเซลล์ใช้สายอากาศอัตราขยาย 9 dBi.....	61
4.10 การหาค่ามัลติพาทเฟดดิ้ง.....	64
4.11 (a) สัญญาณที่วัดได้ (b) สัญญาณที่ทำการลดค่าด้วยค่ามัธยฐาน.....	64
4.12 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในเขตพื้นที่เมือง.....	65
4.13 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในเขตพื้นที่ชานเมือง.....	66
4.14 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในเขตพื้นที่ชนบท.....	66
4.15 เปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของแต่ละเขตพื้นที่.....	67
4.16 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของแต่ละเขตพื้นที่.....	67
4.17 ฟังก์ชันแจกแจงสะสมของสัญญาณในเขตพื้นที่เมือง.....	68
4.18 ฟังก์ชันแจกแจงสะสมของสัญญาณในเขตพื้นที่ชานเมือง.....	68
4.19 ฟังก์ชันแจกแจงสะสมของสัญญาณในเขตพื้นที่ชนบท.....	69
4.20 เปรียบฟังก์ชันแจกแจงสะสมของสัญญาณในแต่ละเขตพื้นที่.....	69
4.22 ระยะเวลาของเซลล์ในพื้นที่ต่างๆ.....	71
4.23 ระยะเวลาติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่ชานเมือง.....	72
4.24 ระยะเวลาติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่ชานเมือง แบบ 2 แครเรียร์ต่อพื้นที่.....	72
4.25 ระยะเวลาติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่ชนบท.....	73
4.26 ระยะเวลาติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่ชนบท แบบ 2 แครเรียร์ต่อพื้นที่.....	73
4.27 ระยะเวลาติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่เมือง.....	73
4.28 ระยะเวลาติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่เมือง แบบ 2 แครเรียร์ต่อพื้นที่.....	74
4.29 ระยะเวลาติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่เมือง.....	75
4.30 ระยะเวลาติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่เมือง แบบ 2 แครเรียร์ต่อพื้นที่.....	75
5.1 รายละเอียดโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ .....	76
5.2 ผลการทดสอบบริเวณถนนรัชดาภิเษกเมื่อวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ห่างกัน 600 เมตร .....	78
5.3 ผลการทดสอบบริเวณถนนรัชดาภิเษกเมื่อวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ห่างกัน 300 เมตร.....	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4 ผลการทดสอบบริเวณถนนบางนา-ตราดเมื่อวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ห่างกัน 900เมตร.....	79
5.5 ผลการทดสอบในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์ บริเวณถนนบางนา-ตราดห่างกัน 450 เมตร.....	79
5.6 ผลการทดสอบในเขตพื้นที่เมือง บริเวณถนนสีลมห่างกัน 240เมตร.....	80
5.7 ผลการทดสอบในพื้นที่เขตพื้นที่เมือง บริเวณถนนสีลมห่างกัน 120เมตร.....	81
5.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบ.....	82
5.9 เครื่องตรวจสอบระยะทางที่พัฒนาขึ้น.....	82
5.10 กราฟระดับความแรงสัญญาณในพื้นที่ถนนรัชดาภิเษก.....	83
5.11 กราฟระดับความแรงสัญญาณในพื้นที่ถนนบางนา-ตราด.....	83
5.12 กราฟระดับความแรงสัญญาณในพื้นที่ถนนสีลม.....	84
5.13 ผลการเกิดเปอร์เซ็นต์การโทรแล้วหลุดในพื้นที่ต่างๆที่ความเร็วต่างๆ.....	85
5.14 ผลการเกิดการขาดหายของสัญญาณเสียงขณะข้ามเซลล์ในพื้นที่ต่างๆที่ความเร็วต่างๆ...	79
6.1 ตัวอย่างการวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ บริเวณสี่แยกในเขตชานเมือง.....	81

# คำย่อและสัญลักษณ์

PCS	: Personal Communication System
PACS	: Personal Access Communication System
DECT	: Digital European Cordless Telephone
PHS	: Personal Handy-phone System
CT-2	: Cordless Telephone-2
FCC	: Federal Communication Commission
PCT	: Personal Communication Telephone
IN	: Intelligent Network
ITU	: International Telecommunication Union
FPLMTS	: Future Public Land Mobile Telecommunication System
MS	: Mobile Station
BS	: Base Station
PS	: Personal Station
CS	: Cell Station
FDMA	: Frequency Division Multiple Access
TDMA	: Time Division Multiple Access
TDD	: Time Division Duplex
BER	: Bit Error Rate
ADPCM	: Adaptive Differential Pulse Code Modulator
GSM	: Global System Mobile
WLL	: Wireless Local Loop
OMS	: Operation and Maintenance System
TMN	: Telecommunication Management Network
FDD	: Frequency Division Multiplex
FCC	: Federal Communications Commission
PBX	: Private Branch Exchange
CS	: Cell Station
PSTN	: Public Switched Telephone Network
SCP	: Service Control Point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

- SS7 : Signaling System No.7  
TOT : Telephone Organization of Thailand  
TA : Telecom Asia Co., Ltd.  
TTC : Telecommunications Technology Committee  
ARIB : The Association of radio industries and Businesses  
 $\pi/4$  QPSK:  $\pi/4$  Quadrature Phase Shift Keying  
SSP : Service Switching Point  
HLR : Home Location Register



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์ลูลาร์(Cellular Mobile Telephone System) จะมีการวางเซลล์ให้ครอบคลุมพื้นที่บริการ[1] โดยขนาดการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์จะถูกลดลงเรื่อยๆ จากเซลล์ที่มีขนาดใหญ่มีรัศมีมากกว่า 50 กิโลเมตร จนมีขนาดรัศมีเหลือเพียงไม่กี่เมตรเท่านั้น เนื่องจากเทคโนโลยีที่เปลี่ยนแปลงไป ได้แก่นำความถี่ในย่านที่สูงขึ้นมาใช้งาน ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณที่สูงขึ้น รวมทั้งเมื่อปริมาณของผู้ใช้งานมีจำนวนที่เพิ่มมากขึ้นทำให้จำนวนช่องสัญญาณต่อพื้นที่ของเซลล์ที่มีอยู่ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จำเป็นที่ต้องลดขนาดการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ลง ขนาดของเซลล์จะมีการแบ่งการเรียกตามขนาดการครอบคลุมพื้นที่ดังแสดงในตารางที่ 1.1 [2]

เมื่อขนาดของเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์ลูลาร์มีขนาดเล็กมากๆ ก็จะต้องใช้สถานีฐาน (Base Station) จำนวนมากขึ้นทำให้การลงทุนก็จะเพิ่มสูงขึ้นตาม[1] จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์ลูลาร์ จากที่เคยวางเซลล์ให้ครอบคลุมทั่วพื้นที่บริการมาเป็นเลือกวางเฉพาะบริเวณที่ต้องการใช้งานเท่านั้น เช่น บริเวณถนน ในตึกหรืออาคารต่างๆ จึงเป็นที่มาของ ระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (PCS : Personal Communication System) โดยการติดต่อสื่อสารสามารถกระทำได้โดยไม่ขึ้นกับเวลาและสถานที่[3] ระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลแบบดิจิทัลกำลังได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบันซึ่งมีหลายระบบได้แก่ ระบบ PACS (Personal Access Communication System)[4] ระบบ DECT (Digital European Cordless Telephone)[5-6] ระบบ PHS (Personal Handy-phone System)[7-8] และระบบ CT-2 (Cordless Telephone 2) เป็นต้น

ตารางที่ 1.2 แสดงการเปรียบเทียบระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลแบบต่างๆ[2] ทั้ง 4 ระบบซึ่งจะมีคุณสมบัติแบ่งแยกออกเป็น 2 กลุ่ม คือสามแบบแรกจะเป็นแบบสื่อสาร 2 ทาง แต่แบบที่ 4 (CT-2) จะเป็นการสื่อสารทางเดียวจึงไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร ในสามแบบแรกก็ยังมีส่วนที่แตกต่างกัน โดยระบบ PHS และระบบ DECT จะมีวิธีการจัดสรรแถบความถี่แบบไดนามิก (Dynamic assign) ซึ่งเป็นการจัดสรรความถี่โดยอัตโนมัติ เมื่อมีการติดตั้งเซลล์ใหม่ผู้ติดตั้งไม่จำเป็นต้องทราบความถี่ที่มีในเซลล์เดิม เซลล์ใหม่จะตรวจสอบรอบๆว่ามีการใช้งานความถี่ใดบ้าง จากนั้นจะเลือกความถี่ที่ยังไม่ถูกใช้งานมาใช้งานต่อไป ส่วนในระบบ PACS เป็นระบบที่มีลักษณะคล้ายกับระบบเซลล์ลูลาร์ จะมีการจัดสรรแถบความถี่แบบตายตัว (Fixed assign) ผู้วางโครงข่ายจำเป็นต้องต้องบริหารความถี่ไม่ให้มีการรบกวนกันการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์หรือสถานีฐาน

ตารางที่ 1.1 การแบ่งขนาดของเซลล์

ชนิดของเซลล์	รัศมีเซลล์	การครอบคลุมพื้นที่	การบริการ
เซลล์ขนาดใหญ่มาก (Huge cell)	มากกว่า 50 กิโลเมตร	ทวีปหรือประเทศ (Continents)	การสื่อสารดาวเทียม
เซลล์ขนาดใหญ่ (Large cell)	10-50 กิโลเมตร	พื้นที่ชนบท (Rural)	โทรศัพท์เคลื่อนที่ เซลล์ลูตาร์
เซลล์ (Cell)	1-10 กิโลเมตร	พื้นที่เมือง (Urban)	โทรศัพท์เคลื่อนที่ เซลล์ลูตาร์
มินิเซลล์ (Minicell)	100-1000 เมตร	พื้นที่เมืองที่มีการใช้ งานหนาแน่น (Dense Urban)	โทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์ลูตาร์/ ระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (PCS)
ไมโครเซลล์ (Microcell)	10-100 เมตร	ภายในสำนักงาน (Office campus)	PCS/โครงข่ายภายในที่ สื่อสารด้วยคลื่นวิทยุ (Radio LAN)
พิโคเซลล์ (Pico cell)	20-10 เมตร	ภายในห้อง (Single room)	โครงข่ายภายในที่สื่อสารด้วย คลื่นอินฟราเรด(IR LANs)
เฟมโตเซลล์ (Femto cell)	น้อยกว่า 2 เมตร	ส่วนพื้นที่เฉพาะ (Private short range)	Infra Red Data Association (IRDA)

ระบบ PACS จะมีรูปแบบการวางเซลล์คล้ายกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์ลูตาร์จะมีการครอบคลุมพื้นที่มากกว่าระบบ PHS และ DECT ส่วนระบบ CT-2 มีการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์น้อยที่สุด ฉะนั้นระบบ PACS จะเคลื่อนที่ได้ต่ำกว่า 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ระบบ PHS จะเคลื่อนที่ได้ต่ำกว่า 30 ชั่วโมง ส่วนระบบ DECT และ CT-2 จะเคลื่อนที่ได้ช้าเท่ากับการเดิน ส่วนจำนวนช่องสัญญาณต่อเซลล์นั้น ระบบ DECT จะมีจำนวน 12 ช่องแต่ละช่องมีแบนด์วิดท์ 1728 kHz รองลงมาเป็นระบบ PHS จะมีจำนวน 4 ช่องแต่ละช่องมีแบนด์วิดท์ 300 kHz ส่วนระบบ PACS จะมีจำนวน 2 ถึง 8 ช่องขึ้นอยู่กับพื้นที่บริการแต่ละช่องมีแบนด์วิดท์ 300 kHz และ CT-2 จะมีเพียง 1 ช่องมีแบนด์วิดท์ 100 kHz

ในประเทศไทยได้มีการนำระบบ PHS ซึ่งเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายส่วนบุคคล เทคโนโลยีจากประเทศญี่ปุ่น มาทำการปรับปรุงเป็นบริการเสริมไร้สายให้กับระบบโทรศัพท์พื้นฐาน (Fixed-line phone) ที่มีเลขหมายเดียวกันให้สามารถนำไปใช้งานได้ทุกสถานที่ทุกเวลาและเรียกชื่อว่า “ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลที่ซีที (PCT : Personal Communication Telephone)”[9,10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของระบบการสื่อสารแบบไร้สายส่วนบุคคล

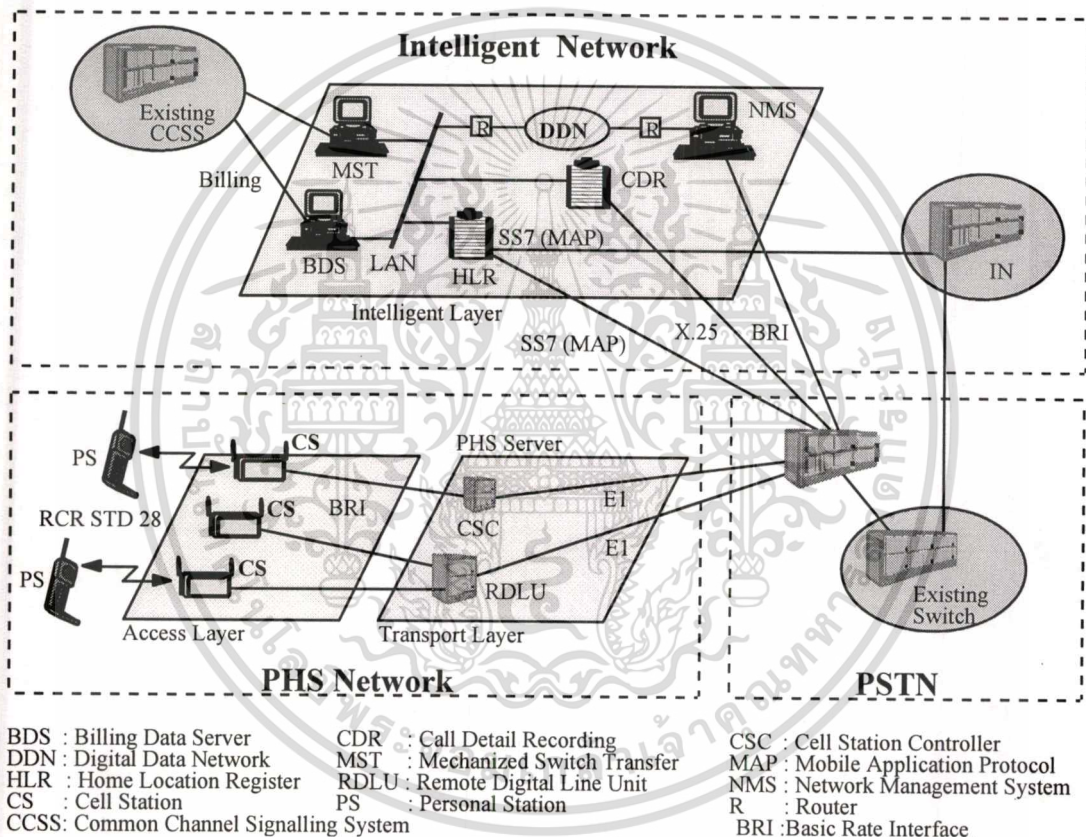
	PHS	DECT	PACS	CT-2
ประเทศเจ้าของเทคโนโลยี	ญี่ปุ่น	ยุโรป	อเมริกา	อเมริกา
ย่านความถี่	1895 ~ 1918MHz	1880 ~ 1900MHz	1850 ~ 1910MHz(Up) 1930 ~ 1990MHz(Down)	864.05 ~ 868.05MHz
ความกว้างของแถบความถี่ที่ใช้	23MHz	20MHz	120MHz	4MHz
ประสิทธิภาพในการใช้ความถี่	สูง	สูง	ต่ำ	สูง
จำนวนการมัลติเพล็กซ์	4ch/CS(77 Carriers)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

โดยองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทยได้อนุมัติให้บริษัทเทเลคอมเอเชีย คอปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) (TA) เป็นผู้ดำเนินการในการให้บริการในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล บริษัทไทยเทเลโฟนแอนด์เทเลกราฟ (TT&T) เป็นผู้ดำเนินการให้บริการในเขตต่างจังหวัด ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที จะใช้คลื่นความถี่ในย่าน 1900 MHz (1895-1918 MHz)[11] โดยระบบที่ทำการพัฒนาขึ้นจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างจาก ระบบ PHS เดิม 3 ประการคือ [9,10]

1. หมายเลขของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที จะเป็นเลขเดียวกับโทรศัพท์พื้นฐานเพื่อให้ง่ายต่อการจดจำและเป็นขั้นแรกของการพัฒนาไปสู่ ระบบเลขหมายส่วนบุคคล (Personal Number) โดยการนำโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN) โครงข่ายระบบ PHS และโครงข่ายอัจฉริยะ (Intelligent Network) มาทำงานร่วมกันดังแสดงในรูปที่ 1.1 เพื่อให้เกิดฟังก์ชันการทำงานดังกล่าว

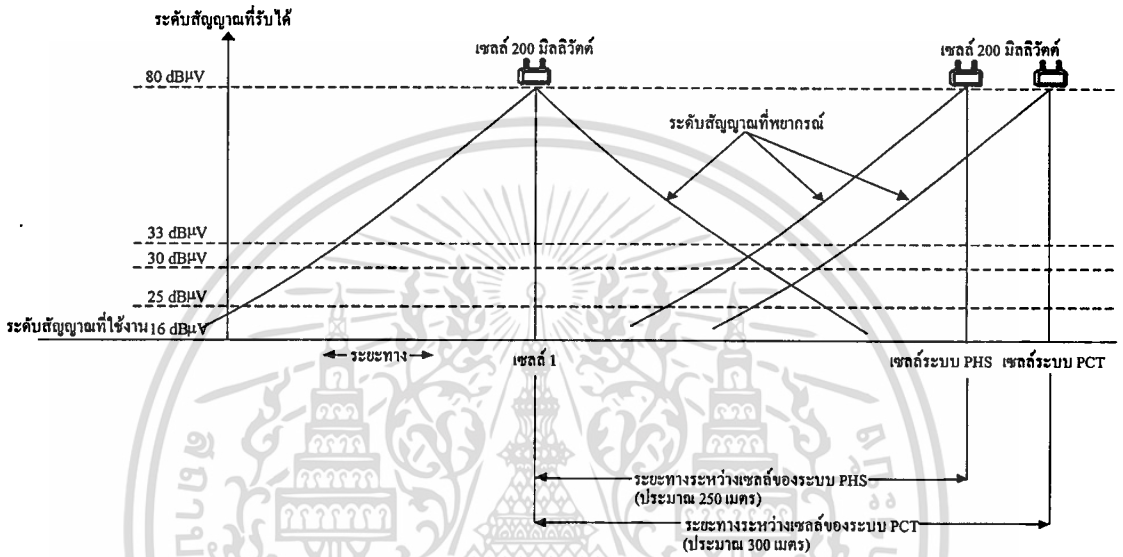


รูปที่ 1.1 โครงสร้างของโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

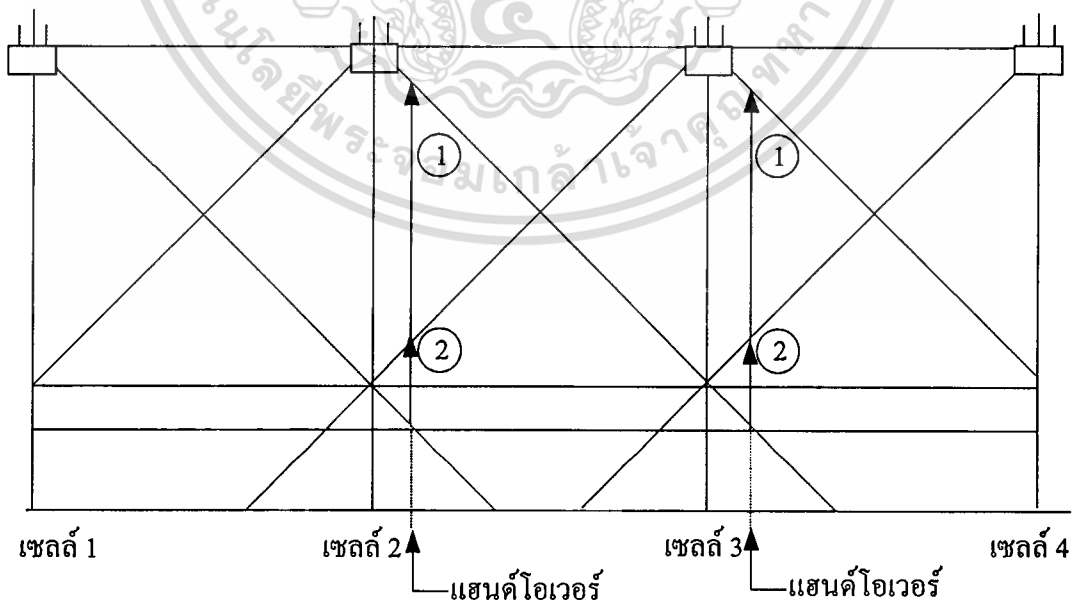
2. การครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที ที่เรียกว่า เซลล์สเตชัน (Cell Station) หรือสถานีเซลล์จะใหญ่กว่าระบบ PHS โดยการเปลี่ยนระดับสัญญาณเทรสโฮลด์ในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ (Handover) จากระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์อิน ซึ่งเป็นระดับสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์พีซีทีจะทำการหาช่องสัญญาณใหม่ที่แรงที่สุดเพื่อใช้งานหลังจากข้ามเซลล์ที่ระดับ  $33 \text{ dB}\mu\text{V}$  เป็น  $30 \text{ dB}\mu\text{V}$  และ ระดับการแฮนด์โอเวอร์เอาท์ซึ่งเป็นระดับสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์พีซีทีเปลี่ยนไปยังช่องสัญญาณใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แรงที่สุดจาก  $30\text{ dB}\mu\text{V}$  เป็น  $25\text{ dB}\mu\text{V}$  ดังแสดงในรูปที่ 1.2 [10] ทำให้ปริมาณการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ลดลงเมื่อเทียบกับระบบ PHS ดังนั้นเปอร์เซ็นต์การขาดหายของเสียงในระหว่างการข้ามเซลล์ (Muting time) จะลดลง เมื่อเซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้สามารถใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีทีเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับระบบ PHS โดยสามารถใช้งานแบบเคลื่อนที่ได้ที่ความเร็วสูงสุดประมาณ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งสูงกว่าระบบ PHS ถึง 2 เท่า



รูปที่ 1.2 เปรียบเทียบระยะทางของเซลล์ ระบบ PHS กับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที



รูปที่ 1.3 ลักษณะการติดตั้งสถานีเซลล์แบบ 2 แครเรียร์ต่อพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเพิ่มความจุของช่องสัญญาณต่อพื้นที่ให้บริการที่มีปริมาณทราฟฟิกสูง ได้ออกแบบการวางเซลล์โดยใช้เทคนิค 2 แครียร์ต่อพื้นที่ คือหนึ่งพื้นที่จะสามารถติดต่อกับสถานีเซลล์ 2 เซลล์ในเวลาเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.3 ซึ่งจะช่วยลดการโทรแล้วหลุด (Call drop) และการโทรออกไม่ได้ (Call blocking) ลง

ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุบุคคลพีซีที จะมีการติดตั้งสถานีเซลล์สาธารณะในพื้นที่การให้บริการโหมคใช้งานสาธารณะ แต่เนื่องจากระบบมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณเทอร์สโสด์ในการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ต่างจากระบบ PHS รวมทั้งสภาพแวดล้อมการใช้งานในประเทศไทยที่มีสภาพอากาศค่อนข้างร้อน มีความชื้นสูงเนื่องจากฝนตกบ่อย ทำให้อากาศมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นค่อนข้างมาก รูปแบบของอาคารสิ่งก่อสร้างที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายคลื่นก็แตกต่างไปจากประเทศญี่ปุ่น และรูปแบบการใช้งานที่เคลื่อนที่ได้ด้วยความเร็วสูงขึ้น ทำให้หลักการและวิธีการวางตำแหน่งเซลล์เดิมที่ใช้กับระบบ PHS ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เพื่อหาตำแหน่งการวางเซลล์พื้นที่ในประเทศไทย

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาการแพร่กระจายคลื่นในย่านความถี่ 1900 MHz ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุบุคคลพีซีที ในสภาพแวดล้อมต่างๆของพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยแบ่งออกเป็น 3 พื้นที่ได้แก่ พื้นที่โล่ง (Open Area) หรือพื้นที่ชนบท (Rural area) เป็นพื้นที่ใช้งานที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง พื้นที่เขตชานเมือง (Suburban Area) เป็นพื้นที่ซึ่งมีสิ่งก่อสร้างเพียงเล็กน้อยและ พื้นที่เมือง (Urban Area) เป็นพื้นที่ซึ่งมีสิ่งก่อสร้างมากกว่าทั้ง 2 กรณี[12] เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวัดหลายๆครั้งมาใช้ในการสร้างโมเดลที่ได้จากการวัด (Empirical Model) โดยวิธีการทางสถิติเพื่อหาระยะในการวางตำแหน่งสถานีเซลล์ที่เหมาะสมในพื้นที่ต่างๆที่มีสภาพแวดล้อมคล้ายคลึงกัน โดยพิจารณาจากการแพร่กระจายคลื่นในสภาพแวดล้อมต่างๆ การลดทอนของสัญญาณ ปริมาณทราฟฟิกในแต่ละพื้นที่ เพื่อให้การบริการของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุบุคคลพีซีที มีคุณภาพการบริการที่ดี โดยเซลล์สเตชันที่ใช้จะมีการใช้งานอยู่ 2 แบบคือ ขนาด 20 มิลลิวัตต์และ 200 มิลลิวัตต์ [13-14] ซึ่งเป็นเซลล์แบบมินิเซลล์ (Minicell)[2] ที่มีขนาดการครอบคลุมพื้นที่ไม่มาก การแพร่กระจายคลื่นมีระยะทางเพียงไม่กี่ร้อยเมตร การวางตำแหน่งเซลล์ที่ผิดพลาดจะทำให้คุณภาพการบริการของระบบเสียไป กรณีที่วางตำแหน่งเซลล์ห่างกันมากเกินไปก็ทำให้เกิดพื้นที่ ที่เป็นจุดบอดของสัญญาณ มีระดับสัญญาณต่ำกว่าข้อกำหนดในการใช้งานเครื่องโทรศัพท์พีซีที (PCT Personal station) ทำให้ไม่สามารถใช้งานโทรศัพท์พีซีทีในการติดต่อสื่อสารได้ กรณีที่วางเซลล์ใกล้กันมากเกินไปก็ต้องใช้สถานีเซลล์จำนวนมากทำให้สิ้นเปลือง เป็นการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มค่าใช้จ่ายในการลงทุนของผู้ให้บริการ ดังนั้นถ้าสามารถหาโมเดลที่ใช้ในการวางตำแหน่งเซลล์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและสภาพการใช้งานทั้ง 3 กรณี จะทำให้ระบบมีคุณภาพการบริการที่ดีประหยัดค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

### 1.3 ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในงานศึกษาวิจัย

การออกแบบเพื่อวางเซลล์ จะใช้วิธีการคาดคะเนหาขนาดของเซลล์ให้ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด ซึ่งมีการนำเสนอการคาดคะเนหลายๆแบบ ได้แก่ การคาดคะเนแบบพื้นที่ต่อพื้นที่ การคาดคะเนแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point) เป็นต้น[15] การหาระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นของสถานีเซลล์ จะพิจารณาจากระดับความแรงของสัญญาณที่ขึ้นอยู่กับการลดทอนตามระยะทางในการแพร่กระจายคลื่น (Path loss) เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบเพื่อวางตำแหน่งสถานีเซลล์ ระยะทางที่คลื่นแพร่กระจายออกไปจากเซลล์จะขึ้นอยู่กับกำลังส่ง ความสูงที่ติดตั้ง ลักษณะการติดตั้ง และสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดการสูญเสียของคลื่น เป็นต้น ได้มีการนำเสนอทฤษฎีการคาดคะเนค่าการลดทอนในการแพร่กระจายคลื่น เช่น โมเดล Okumura-Hata [16-17] โมเดล Ibrahim-Parsons [18-19] โมเดล Lee[20] โมเดล COST-231-Hata [21] และ โมเดล COST-231-Walfish-Ikegami [21] เป็นต้น เพื่อใช้หารัศมีการครอบคลุมพื้นที่เซลล์ โดยแต่ละโมเดลจะพิจารณาตัวแปรที่ทำให้เกิดการลดทอนที่แตกต่างกันออกไปตามสภาพแวดล้อมและความถี่ใช้งาน เมื่อนำโมเดลดังกล่าวมาใช้คาดคะเนเพื่อติดตั้งเซลล์ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งมีหลายๆตัวแปรที่แตกต่างทั้งสภาพสิ่งปลูกสร้าง อุณหภูมิ เป็นต้น ทำให้ไม่เหมาะสม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอวิธีการสร้างโมเดลในการติดตั้งสถานีเซลล์ในพื้นที่ต่างๆ โดยแบ่งเป็น 3 กรณี ดังที่กล่าวมาแล้ว โดยทำการศึกษาการลดทอนตามระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นที่ย่านความถี่ 1900 MHz ของโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีทีในประเทศไทย โดยการวัดหลายๆครั้งแล้วข้อมูลที่ได้นำมาสร้างสมการเพื่อหารัศมีการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ โดยระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที จะวางสถานีเซลล์ไว้ริมถนนทั่วไปโดยทางไฟฟ้ากำหนดให้ติดตั้งที่ความสูง 4.5 เมตร จากการศึกษากระทำโดยการทดลองโดยติดตั้งสถานีเซลล์เพื่อส่งคลื่นในสภาพแวดล้อมต่างๆ ทั้ง 3 พื้นที่เพื่อวัดระดับสัญญาณ จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบที่ทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณ รวมทั้งเฟดดิ้งแฟคเตอร์ที่เกิดขึ้น โดยพิจารณาการกระจายทั้งแบบเรย์ลีและ รีเซียน สมการที่ได้จึงมีความเหมาะสมในการออกแบบติดตั้งเซลล์ในพื้นที่ต่างๆ ทำให้การครอบคลุมพื้นที่ของระบบมีประสิทธิภาพในการให้บริการที่ดี

## 1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความจำเป็นและวัตถุประสงค์ของการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนปัญหาที่น่าสนใจของวิทยานิพนธ์ รวมทั้งแนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงโครงสร้างมาตรฐานของโครงข่าย และหลักการทำงานของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีที

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับ การลดทอนตามระยะทางในการแพร่กระจายคลื่น โมเดลต่างๆที่ใช้ในการทำนายการแพร่กระจายคลื่น ในช่วงความถี่และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน

บทที่ 4 กล่าวถึงวิธีการในการหาตำแหน่งเพื่อวางเซลล์ที่เหมาะสม ของระบบโทรศัพท์พหุพหุบุคคลพีซีที ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำเสนอวิธีการหาสมการในการคาดคะเนของการแพร่กระจายคลื่นของระบบในพื้นที่การใช้งานต่างๆและ โมเดลการติดตั้งสถานีเซลล์ในแต่ละพื้นที่

บทที่ 5 กล่าวถึงวิธีการทดสอบการใช้งานในพื้นที่ต่างๆทั้งการใช้งานที่ความเร็วต่ำ (เดินใช้งาน) และความเร็วสูง (ใช้งานในรถยนต์) โดยทดสอบผลการแพร่กระจายคลื่นของเซลล์ในพื้นที่ทั้ง 3 กรณี เพื่อแสดงให้เห็นว่าโมเดลที่นำเสนอมีความถูกต้องใช้งานได้จริง จากนั้นจะเป็นทดสอบประสิทธิภาพในการบริการของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีทีในพื้นที่ต่างๆ

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลของงานวิจัย ข้อเสนอแนะต่างๆ ปัญหาที่เกิดขึ้นรวมทั้งวิธีการแก้ไข

## บทที่ 2

# ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

### 2.1 บทนำ

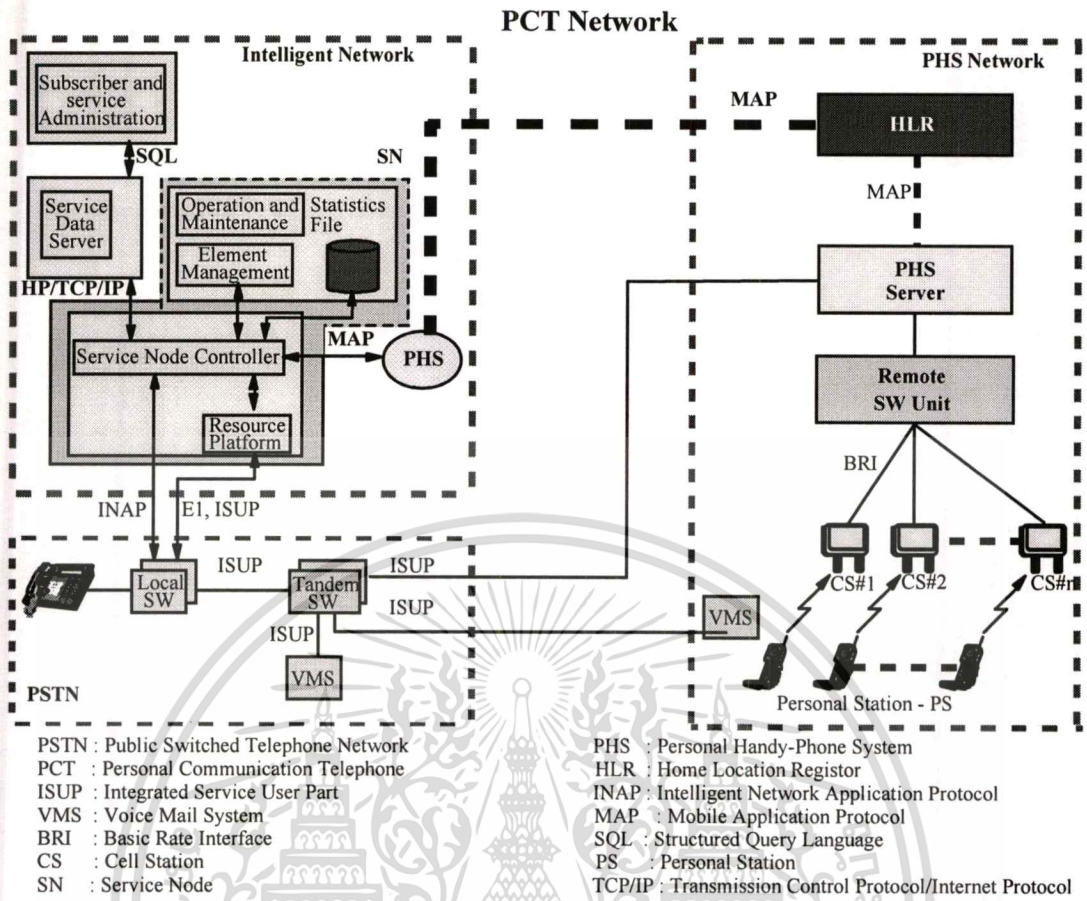
ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที เป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายที่องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย (TOT : Telephone Organization of Thailand) และบริษัท เทเลคอมเอเชีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ได้ทำการพัฒนาจากระบบ PHS ของประเทศญี่ปุ่น ได้เริ่มให้บริการเชิงพาณิชย์ในประเทศไทยในปี 2540 [9,10,13,14] ในลักษณะบริการเสริมของโทรศัพท์พื้นฐานแบบใช้สายให้สามารถใช้งานโทรศัพท์ไร้สายได้ทุกที่ทุกเวลาที่เรียกว่า “การสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล” ไม่ว่าจะใช้งานที่บ้าน พื้นที่สาธารณะ หรือแม้กระทั่งในรถยนต์ที่มีความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การใช้บริการผู้เรียกสามารถเลือกติดต่อได้ทั้งเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานและเครื่องโทรศัพท์พีซีที ทำให้ไม่พลาดการติดต่อ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานโทรศัพท์ ให้สูงขึ้น

### 2.2 โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

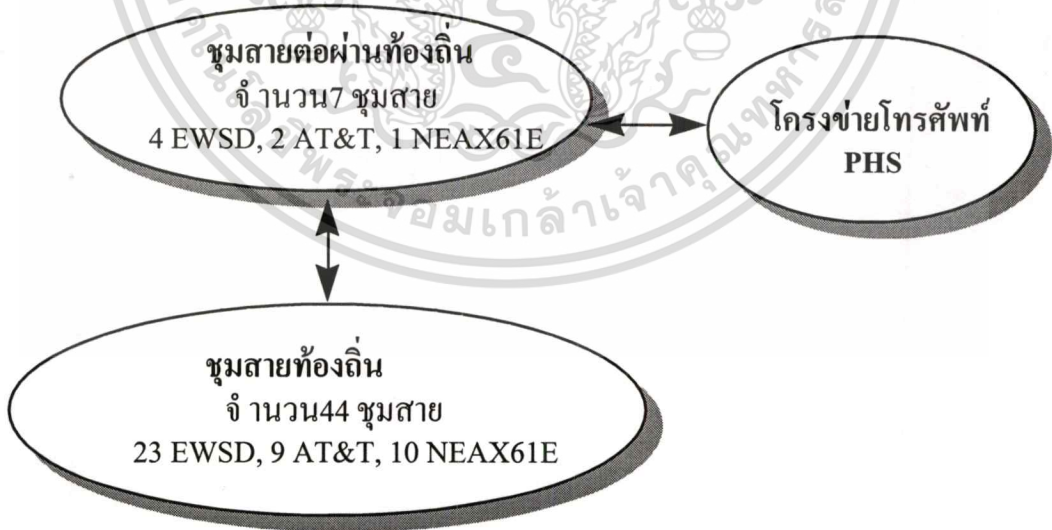
โครงสร้างของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที จะเป็นการทำงานร่วมกันของ 3 โครงข่ายดังแสดงในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วย โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (PSTN) ซึ่งเป็นโครงข่ายพื้นฐานที่มีอยู่เดิม โครงข่ายอัจฉริยะ(Intelligent Network) ที่นำมาใช้จะให้บริการเสริมในรูปแบบของบริการหมายเลขเดียว (One number service) ทำให้เลขหมายของเครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีทีเป็นเลขหมายเดียวกับเครื่องโทรศัพท์พื้นฐาน และ โครงข่ายโทรศัพท์ PHS จะเป็นส่วนให้บริการในรูปแบบการสื่อสารไร้สาย ที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณทรสโพลที่ใช้ในการข้ามเซลล์ให้มีขนาดลดลง ทำให้ขนาดการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์กว้างขึ้น จึงสามารถติดต่อสื่อสารภายในยานพาหนะที่มีความเร็วสูงขึ้น โดยสามารถใช้งานที่ความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นความเร็วปกติบนท้องถนนในกรุงเทพมหานคร เนื่องจากสภาพการจราจรค่อนข้างติดขัด จึงมีความต้องการใช้งานโทรศัพท์ในรถยนต์ค่อนข้างมาก

#### 2.2.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

เป็นการใช้งานโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานเดิมของบริษัทเทเลคอมเอเชีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด และองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ที่มีการให้บริการอยู่แล้วดังแสดงในรูป 2.2 ประกอบไปด้วยชุมสายโทรศัพท์ 2 ระดับ คือ



รูปที่ 2.1 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุบุคคลพีซีที



รูปที่ 2.2 โครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ

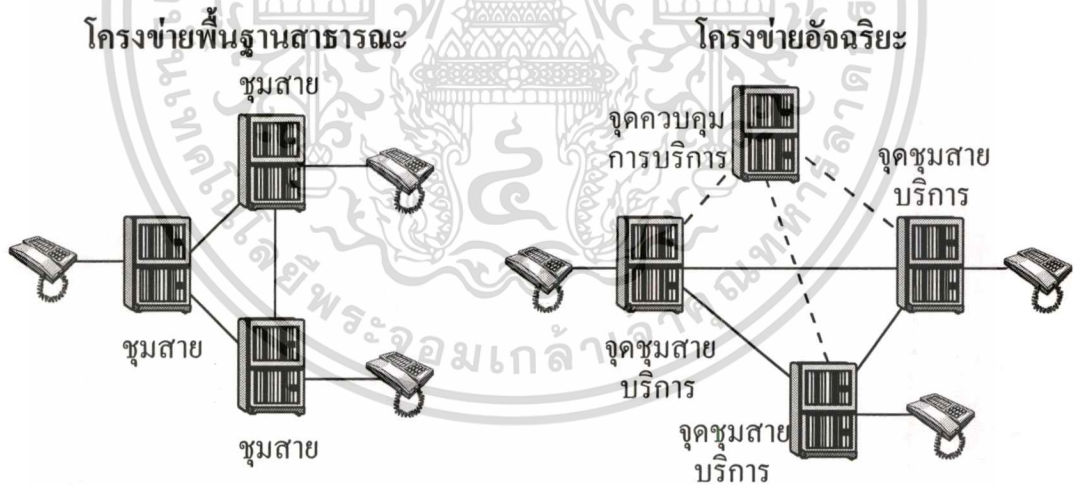
- ชุมสายท้องถิ่น (Local Exchange) ประกอบด้วยกลุ่มของชุมสายปฏิบัติการ (GSP : Group Switching Processor) ทั้งหมด 44 ชุมสาย แบ่งเป็น ชุมสายของ EWSD (Siemens) 23 ชุมสาย ของ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่เชิงพาณิชย์โดยไม่มีการแก้ไขใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AT&T (Lucent) 9 ชุมสายและของ NEAX61E (NEC) 10 ชุมสาย ทุกชุมสายติดต่อกันแบบเมช (Mesh connection) [22]

- ชุมสายต่อผ่านท้องถิ่น (Transit Exchange หรือ Tandem Exchange) ประกอบด้วยชุมสายของ EWSD (Siemens) 4 ชุมสาย ของ AT&T (Lucent) 2 ชุมสายและชุมสายของ NEAX61E(NEC) 1 ชุมสาย โดยชุมสายท้องถิ่นทั้ง 4 ชุมสาย[22] จะเชื่อมต่อกับชุมสายต่อผ่านท้องถิ่นทั้งหมดแบบเมช ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคสิทธิ์ที่ ชุมสายต่อผ่านท้องถิ่นจะต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์ PHS ดังแสดงในรูปที่ 2.2

### 2.2.2 โครงข่ายอัจฉริยะ

เป็นส่วนที่เพิ่มความสามารถของโครงข่ายในด้านต่างๆ เช่น การให้บริการรูปแบบใหม่ หรือ การให้บริการเสริมกับโครงข่าย กระทำโดยการนำระบบคอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์มาช่วยจัดการโครงข่ายและทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการเสริม โดยเป็นการแยกฟังก์ชันในการควบคุมการเรียก (Call control function) ออกจากฟังก์ชันของการให้บริการ (Service control function) ส่งผลให้ผู้ให้บริการโครงข่ายสามารถที่จะพัฒนาโครงข่ายที่มีบริการได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบการทำงานระหว่างโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะธรรมดา กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่ทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะ

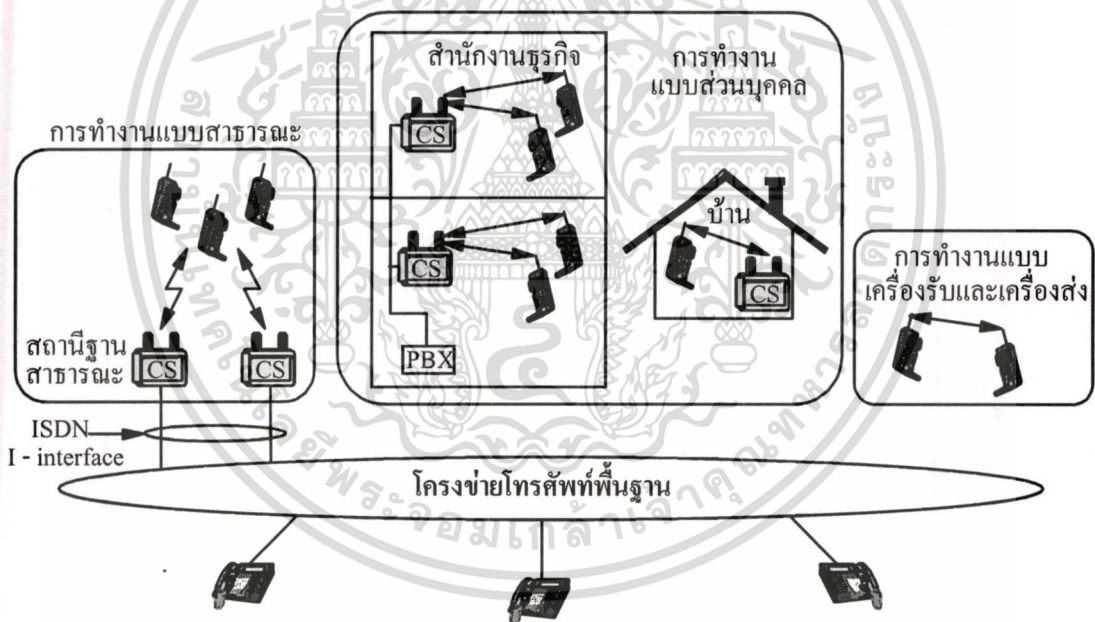
โดยโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะที่มีการทำงานและไม่มีการทำงานร่วมกับโครงข่ายอัจฉริยะแสดงดังรูปที่ 2.3 ถ้าผู้เรียกต้องการใช้บริการของโครงข่ายอัจฉริยะ จุดชุมสายบริการก็จะส่งเลขหมายไปที่จุดควบคุมการบริการซึ่งเป็นฮาร์ดแวร์ของโครงข่ายอัจฉริยะที่แยกออกต่างหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากระบบชุมสาย โดยจุดควบคุมการบริการจะทำหน้าที่เลือกเส้นทางและหาตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์ จากนั้นจะสั่งให้อุปกรณ์ชุมสายทำการสร้างเส้นทางในการเรียกไปยังปลายทางที่ต้องการต่อไป

### 2.2.3 โครงข่ายโทรศัพท์ PHS [8]

เป็นโครงข่ายระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลที่สามารถใช้งานได้ทั้งที่บ้าน ที่ทำงานเขตพื้นที่ชุมชน ย่านธุรกิจ และพื้นที่สาธารณะต่างๆแสดงดังรูปที่ 2.4 ในระบบโทรศัพท์ PHS สถานีฐานจะเรียกว่า สถานีเซลล์ หรือเซลล์สเตชัน (CS: Cell Station)[40] และสถานีเคลื่อนที่ (PHS Personal Station) จะเรียกว่า เครื่องโทรศัพท์ PHS โดยเซลล์จะมีขนาดเล็กในระดับมินิเซลล์ มีรัศมีบริการให้บริการเพียง 100-300 เมตร เท่านั้น โดยทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มความจุของระบบ และเป็นการประหยัดพลังงานเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่เครื่องโทรศัพท์ PHS ทั้งยังเป็นการลดราคาของสถานีเซลล์ลง

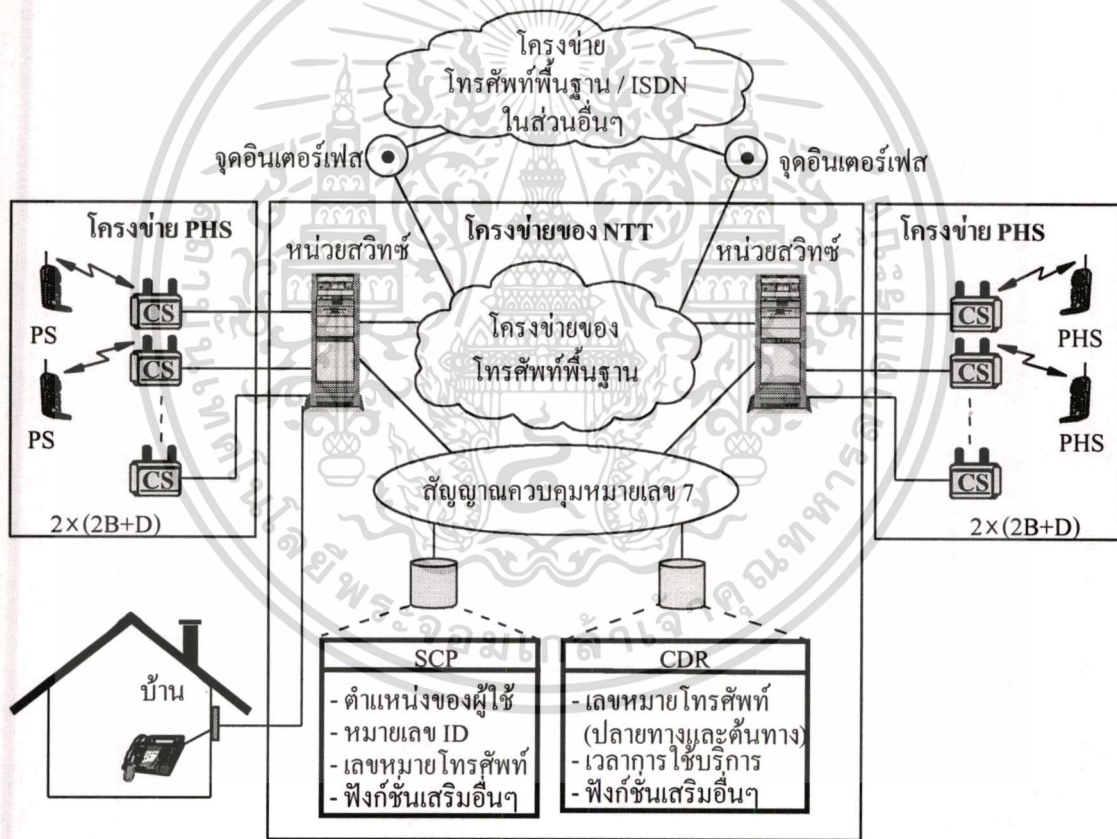


รูปที่ 2.4 ลักษณะการบริการของโทรศัพท์ PHS

จากรูปที่ 2.4 ลักษณะการทำงานของระบบโทรศัพท์ PHS จะมีการใช้งานแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ลักษณะแรกเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัลที่สามารถใช้งานแบบโทรศัพท์ไร้สายได้ทั้งที่บ้านและที่ทำงาน ซึ่งการใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่า การใช้งานในโหมดส่วนตัว (Private Mode) เครื่องโทรศัพท์ PHS จะทำงานติดต่อกับ Home Base Unit แบบโทรศัพท์ไร้สาย (Cordless Telephone) หรือใช้งานลักษณะ Wireless PABX ร่วมกับชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อมีการใช้งานเครื่องโทรศัพท์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PHS ภายนอกบ้าน หรือนอกสำนักงาน เครื่องโทรศัพท์ PHS ก็จะทำการติดต่อสื่อสารกับสถานี เซลล์ที่ตั้งในพื้นที่สาธารณะ การใช้งานในลักษณะที่สองเรียกว่าแบบโหมดสาธารณะ (Public Mode) โดยเมื่อผู้ใช้บริการต้องใช้งานในโหมดสาธารณะ ก็จะทำการกดหมายเลขไปยังเครื่อง โทรศัพท์ PHS ซึ่งในแต่ละเครื่องจะประกอบไปด้วยหมายเลขของผู้ให้บริการจำนวน 10 หมายเลข โดยในแต่ละสถานีเซลล์จะมีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์ ISDN (Integrated Services Digital Network) [23] นอกจากนี้เครื่องโทรศัพท์ PHS ยังสามารถทำการติดต่อสื่อสารโดยตรงระหว่าง เครื่องโทรศัพท์ PHS ด้วยกันได้ การใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่าแบบโหมดรับ-ส่ง (Transceiver Mode) สำหรับการใช้งานในโหมดนี้จะสามารถใช้งานได้ก็ต่อเมื่อเครื่องโทรศัพท์ PHS อยู่ใน บริเวณใกล้ๆกันในลักษณะอินเตอร์คอม สำหรับการเลือกใช้งานในแต่ละโหมดนั้นผู้ใช้บริการ สามารถเลือกใช้งานได้



รูปที่ 2.5 โครงข่ายระบบโทรศัพท์ PHS

### 2.2.3.1 โครงสร้างโครงข่ายโทรศัพท์ PHS

เป็นโครงข่ายที่มีการใช้งานร่วมกับระบบโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยผู้ให้บริการโครงข่าย จะจัดการเชื่อมต่อระหว่างสถานีเซลล์กับเครื่องโทรศัพท์ PHS และจัดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฐานข้อมูลของผู้ใช้บริการ สำหรับเซลล์ในพื้นที่ต่างๆ จะถูกเชื่อมต่อกับชุมสายท้องถิ่น โดยมีการเชื่อมต่อแบบ I-interface [24] ตามมาตรฐานของโครงข่าย ISDN

ตารางที่ 2.1 แสดงการใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์ PHS

ช่องสัญญาณที่	ความถี่ (MHz)	ลักษณะการใช้งาน
1 . 10	1895.150 . 1897.850	ใช้งานในลักษณะเป็นเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ (Transceiver mode: PS → PS) และใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
11	1898.150	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
12	1898.450	เป็นช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล
13 . 17	1898.750 . 1899.950	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
18	1900.250	เป็นช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล
19 . 37	1900.550 . 1905.950	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
38 . 53	1906.250 . 1910.750	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ (Public mode: สามารถใช้งานกับสถานีฐานที่ใช้พลังงานสูงและพลังงานต่ำ)
54 . 69	1911.050 . 1915.550	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ (Public mode: สามารถใช้งานกับสถานีฐานที่ใช้พลังงานต่ำเท่านั้น)
70	1915.850	Guard Channel
71	1916.150	เป็นช่องสัญญาณควบคุม (สำรอง)
72	1916.450	Guard Channel
73	1916.750	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 1
74	1917.050	Guard Channel
75	1917.350	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 2
76	1917.650	Guard Channel
77	1917.950	เป็นช่องสัญญาณควบคุม ช่องที่ 3

ลักษณะของช่องสัญญาณทางพีลิกคอลลจะทำการส่งข้อมูลโดยใช้ช่องสัญญาณ B ในแต่ละสถานีเซลล์จะสามารถรองรับได้ 4 ช่องสัญญาณ ใช้คู่สาย ISDN ที่มีการเชื่อมต่อแบบ BRI (Basic

rate Interface) 2 คู่สายเชื่อมต่อกับสถานีเซลล์กับชุมสายท้องถิ่น สำหรับข้อมูลต่างๆ ของผู้ใช้บริการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่น การดูแลการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของผู้ใช้บริการ โดยหมายเลขของผู้ใช้บริการจะถูกเก็บไว้ใน ส่วนควบคุมการให้บริการ (SCP: Service Control Point) และการบันทึกข้อมูลการเรียกของผู้ใช้ บริการ (CDR: Call Detail Record) ข้อมูลหมายเลขโทรศัพท์ที่ทำการเรียก[7-8] หมายเลขโทรศัพท์ ที่ถูกเรียก และเวลาในการสนทนา จะใช้การเชื่อมต่อแบบ SS7 (Signaling System No.7) [25]

### 2.2.3.2 การใช้งานแถบความถี่ในระบบโทรศัพท์ PHS

ช่องสัญญาณจะแบ่งออกเป็น 77 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณกว้างช่องละ 300 kHz โดยจะใช้งานในช่วงความถี่ 1895.15-1917.95 MHz (ความกว้างของความถี่ 22.8 MHz) สำหรับรายละเอียดความถี่และลักษณะการใช้งานในแต่ละช่องสัญญาณแสดงดังตารางที่ 2.1[11]

## 2.3 คุณสมบัติทางเทคนิคของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุบุคคลพีซีที

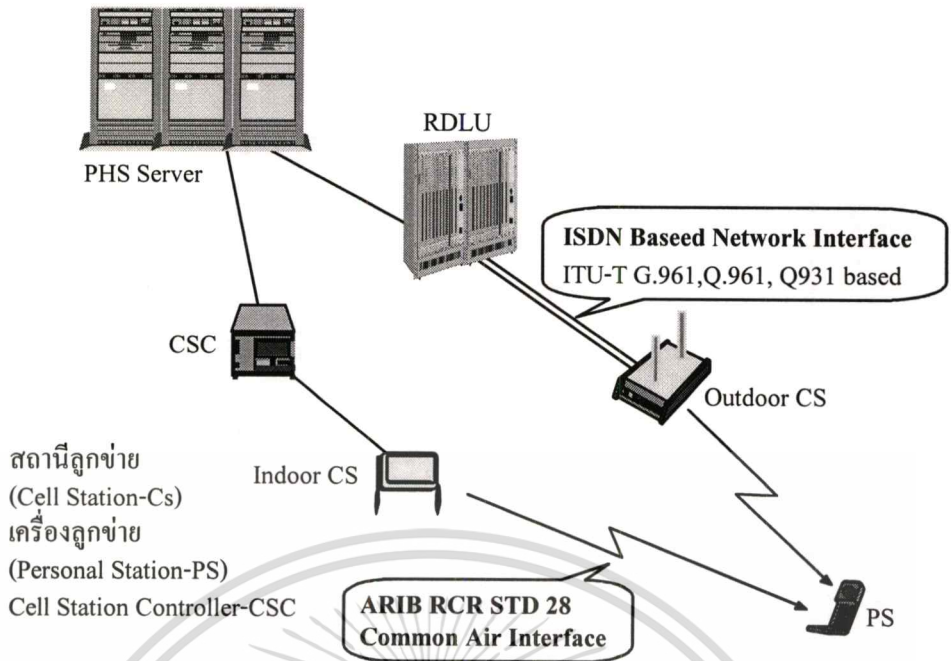
### 2.3.1 มาตรฐานการเชื่อมต่อ

การเชื่อมโยงระหว่างสถานีเซลล์กับโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานพหุบุคคลพีซีที (Network Interface) จะใช้มาตรฐาน JT-Q921-b, JT-Q931-b, JT-Q1218, JT-Q1218-a, JT-Q932-a, JT-1460, JT-1430 และ JT-1961[24] ของ TTC (Telecommunications Technology Committee) และสำหรับ มาตรฐานการเชื่อมต่อทางอากาศ (Air Interface) จะใช้มาตรฐาน RCR STD 28 V.3.2 ของ ARIB (The Association of Radio Industries and Businesses)[11] ซึ่งตามข้อกำหนด โครงสร้างของ โครงข่ายระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุบุคคลพีซีทีจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.6 สัญญาณที่ เชื่อมโยงระหว่างสถานีเซลล์ (CS) กับเซิร์ฟเวอร์ จะมีอัตราเร็ว 32 kbps มีการเข้ารหัสแบบ ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulator)[27] ส่วนสัญญาณที่เชื่อมโยงระหว่าง PCT Switch จะใช้อัตราเร็ว 384 kbps

### 2.3.2 ความถี่ใช้งาน

ความถี่ที่ใช้สำหรับโทรศัพท์พื้นฐานพหุบุคคลพีซีทีจะเหมือนกับระบบโทรศัพท์ PHS ดัง แสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งจะแบ่งความถี่ออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มของความถี่ที่ใช้สำหรับการสื่อสาร ส่วนบุคคล ได้แก่ การใช้งานลักษณะอินเตอร์คอมโมโนโคมรับ-ส่ง เป็นการสื่อสารระหว่างเครื่อง โทรศัพท์พีซีทีด้วยกันโดยไม่มีสถานีเซลล์เข้ามาเกี่ยวข้อง จะใช้ความถี่ช่องที่ 1-10 สำหรับการใ้ งานส่วนบุคคลภายในสำนักงานหรือที่อยู่อาศัยต่างๆ ในรูปแบบของ Wireless PABX จะใช้งาน ความถี่ช่องที่ 11-37 โดยมีช่องสัญญาณในช่องที่ 12, 18 เป็นช่องสัญญาณควบคุม และอีกกลุ่มหนึ่ง เป็นความถี่ที่ใช้สำหรับการติดต่อสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ ซึ่งจะใช้ความถี่ช่องที่ 38 - 69 โดยมีช่อง สัญญาณในช่องที่ 70-77 เป็นช่องสัญญาณควบคุมโดยบริษัท เทเลคอมเอเชีย คอร์ปอเรชั่น จำกัด

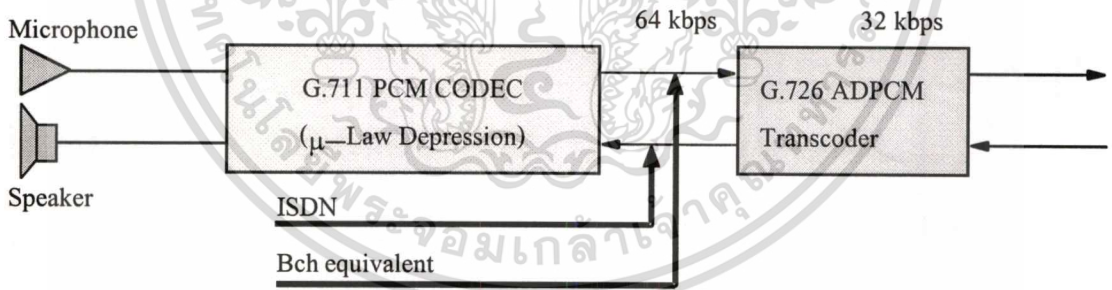
(มหาชน) จะใช้สัญญาณควบคุมช่องที่ 75 เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 การเชื่อมต่อระหว่าง PS กับ CS และ CS กับ PHS Server

2.3.3 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงและการมัลติเพล็กซ์ของสัญญาณ

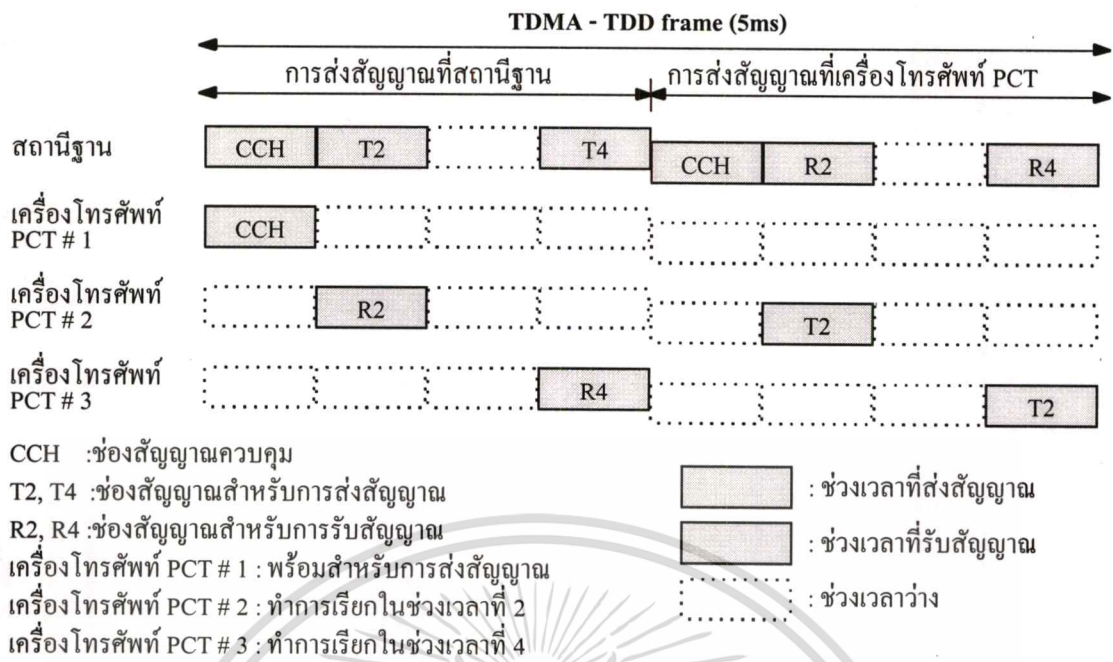
การเข้ารหัสสัญญาณเสียงของระบบ จะใช้วิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ ADPCM ตามมาตรฐาน G.711 และ G.726 ของ ITU-T [26] ซึ่งมีรายละเอียดดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.8 การจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD**

**2.3.4 วิธีการมอดูเลตสัญญาณ**

ระบบโทรศัพท์พื้นฐานพบทุกคลพีซีทีนั้นเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบที่ใช้เทคนิคการแปลงสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณดิจิทัลแบบ ADPCM และใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบ  $\pi/4$  QPSK ( $\pi/4$  Quadrature Phase Shift Keying) [27] ซึ่งเป็นเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณที่ปรับปรุงมาจาก การมอดูเลตแบบ QPSK โดยเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณแบบ  $\pi/4$  QPSK[27]

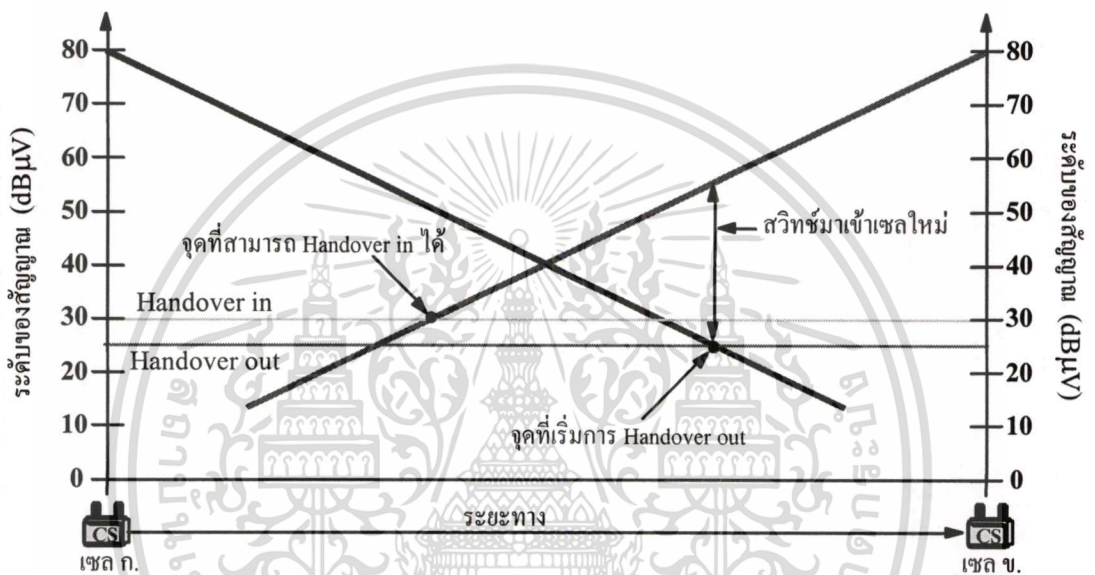
**2.3.5 การข้ามเซลล์ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพบทุกคลพีซีที**

การข้ามเซลล์จะใช้เทคนิคการแฮนด์โอเวอร์ (Handover) เนื่องจากเซลล์มีขนาดเล็กมาก มีรัศมีการให้บริการใน 1 เซลล์ ประมาณ 300 - 500 เมตร การติดต่อสื่อสารที่มีการเคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่ง ไปยังอีกเซลล์หนึ่ง ไม่สามารถใช้เทคนิคการแฮนด์ออฟ (Hand-off) ที่ใช้ในการข้ามเซลล์ของระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์ลูตาร์ได้ เพราะเทคนิคการแฮนด์ออฟจำเป็นจะต้องมีการส่งถ่ายข้อมูลจาก เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลล์ลูตาร์จากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง เพื่อทำการจัดเตรียมช่องสัญญาณ ล่วงหน้าเอาไว้รองรับการข้ามเซลล์ ซึ่งจะต้องใช้เวลาในการถ่ายโอนข้อมูลพอสมควร เมื่อเซลล์มี ขนาดเล็กมากจึงไม่มีเวลาเพียงพอสำหรับการถ่ายโอนข้อมูล โดยวิธีการแฮนด์โอเวอร์จะมีขั้นตอน การทำงานดังนี้ เมื่อสัญญาณที่รับได้จากเครื่องโทรศัพท์พีซีทีมีระดับของสัญญาณต่ำลงจนถึงระดับ เทรสโฮลด์ของการแฮนด์โอเวอร์อิน (30 dB $\mu$ V) เครื่องโทรศัพท์พีซีทีที่จะทำการตรวจหาสัญญาณ จากเซลล์ข้างเคียง โดยจะเลือกเซลล์ที่มีสัญญาณแรงที่สุด ในกรณีที่ช่องสัญญาณของเซลล์ที่มี สัญญาณแรงที่สุดถูกใช้งาน เครื่องโทรศัพท์พีซีทีก็จะเปลี่ยนไปเลือกเซลล์ที่สัญญาณแรงเป็นอันดับ

เอกสาร... (faint text at the bottom of the page)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 แทน และเมื่อหาสัญญาณแรงที่สุดที่เซลล์ใหม่ได้แล้ว เครื่องโทรศัพท์พีซีที ก็จะทำกรยกเลิการสื่อสารในเซลล์เดิมและเปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณในเซลล์ใหม่เพื่อทำการสื่อสารต่อไปดังแสดงในรูปที่ 2.9 สำหรับช่วงเวลาที่มีการข้ามเซลล์นี้ เครื่องโทรศัพท์พีซีทีจะส่งสัญญาณควบคุมไปติดต่อกับในเซลล์ใหม่ โดยไม่สนใจการติดต่อสื่อสารในช่วงเวลานั้น จะส่งผลให้ผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์พีซีทีในช่วงเวลาที่มีการข้ามเซลล์ จะไม่ได้ยินเสียงการสนทนาหรือสัญญาณขาดหาย (Muting time) เป็นเวลาประมาณ 2-3 วินาที สำหรับการใช้งานโทรศัพท์พื้นฐานพบพวบุคคลพีซีทีเมื่อมีการเคลื่อนที่ที่สามารถใช้งานได้ที่ความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

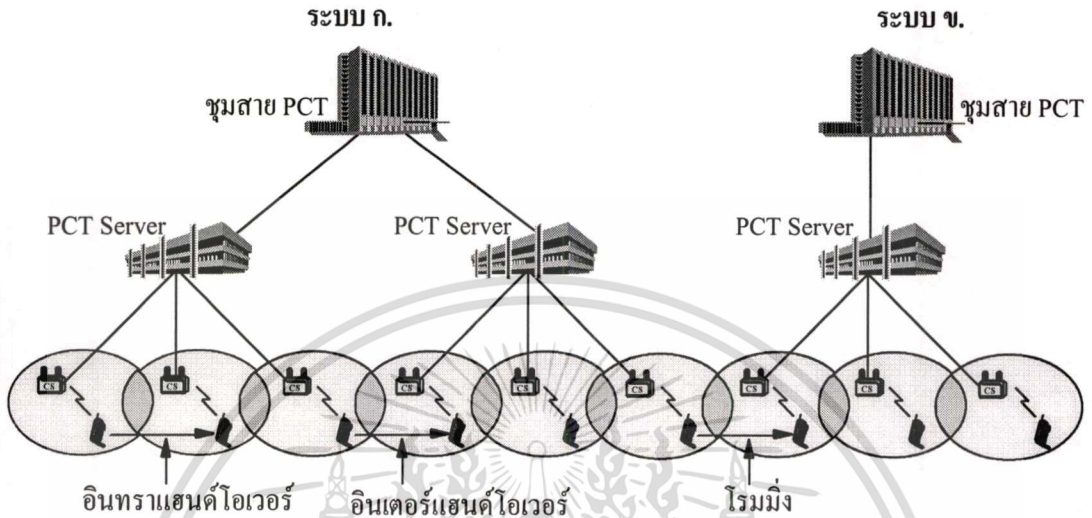


รูปที่ 2.9 ระดับของสัญญาณที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ข้ามเซลล์หนึ่ง ไปอีกเซลล์หนึ่ง

จากรูป 2.10 การแฮนด์โอเวอร์จะแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบที่ 1 เรียกว่า อินทราแฮนด์โอเวอร์ จะเป็นการข้ามเซลล์ของโทรศัพท์พีซีทีในกลุ่มที่ต่อกับ PCT Server เดียวกัน แบบที่ 2 เรียกว่า อินเตอร์แฮนด์โอเวอร์ จะเป็นการข้ามเซลล์ของโทรศัพท์พีซีทีที่อยู่ต่าง PCT Server กัน และในแบบที่ 3 เรียกว่า การโรมมิ่ง (Roaming) จะเป็นการข้ามเซลล์ของโทรศัพท์พีซีทีที่มีโครงข่ายผู้ให้บริการต่างกัน[7-8] ในการข้ามเซลล์ด้วยวิธีการแฮนด์โอเวอร์แต่ละแบบนี้จะใช้เวลาไม่เท่ากัน โดยสังเกตได้จากการเกิดการขาดหายของสัญญาณเสียง ขณะที่ส่งสัญญาณควบคุมในการข้ามเซลล์จะประมาณ 2 วินาที สำหรับแบบอินทราแฮนด์โอเวอร์ 3 วินาที สำหรับแบบอินเตอร์แฮนด์โอเวอร์ และ 4 วินาที สำหรับการโรมมิ่ง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวางรูปแบบของเซลล์ให้มีการข้ามเซลล์อยู่ในกลุ่มเซลล์ของ PCT Server เดียวกัน เพื่อลดเวลาในการขาดหายของสัญญาณเสียงให้เหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ สำหรับการข้ามเซลล์ด้วยการใช้เทคนิคการแฮนด์โอเวอร์นั้นจะใช้ระดับของสัญญาณเป็นตัวกำหนด โดยระดับของสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์พีซีทีจะทำกรข้ามเซลล์ เรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์เอาท์ (Handover out : 25 dB $\mu$ V) และระดับสัญญาณของเซลล์ใหม่ที่มารองรับเรา เรียกว่า ระดับสัญญาณแฮนด์โอเวอร์อิน (Handover in : 30 dB $\mu$ V) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



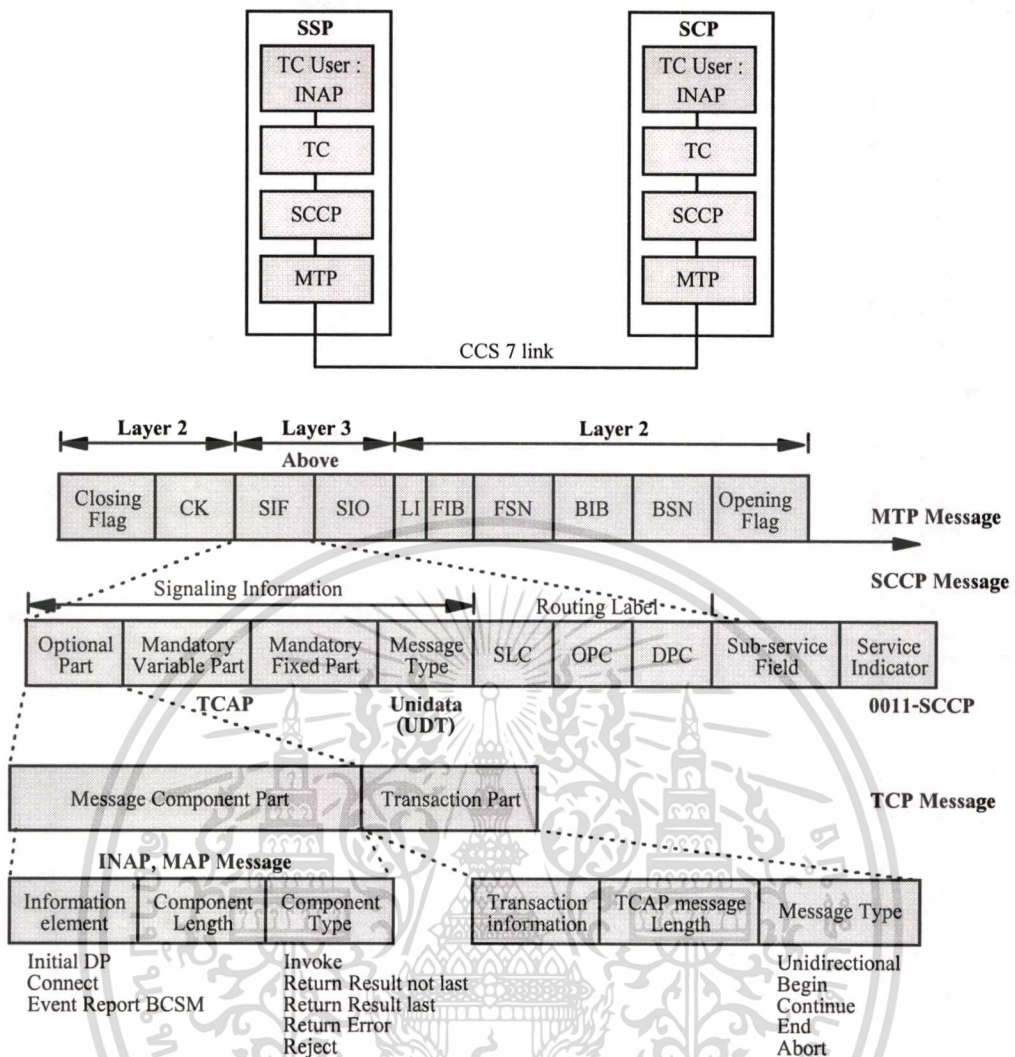
PCT : โทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคล (Personal Communication Telephone) CS : สถานีเซลล์ (Cell Station)

รูปที่ 2.10 การแฮนด์โอเวอร์ทั้ง 3 แบบ ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

### 2.3.6 ระบบโปรโตคอลในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

โปรโตคอลที่ใช้สำหรับการติดต่อระหว่างชุมสาย (SSP : Service Switching Point)[25] กับ ส่วนของการควบคุมการให้บริการ (SCP : Service Control Point)[25] นั้น จะใช้ฟังก์ชันของการทำงานในระบบควบคุมสัญญาณหมายเลข 7 (CCS No.7) โดยระดับของโปรโตคอลและเฟรมของสัญญาณควบคุมจะแสดงดังในรูปที่ 2.11 สำหรับลำดับขั้นของการติดต่อสื่อสารจะแสดงดังรูปที่ 2.12

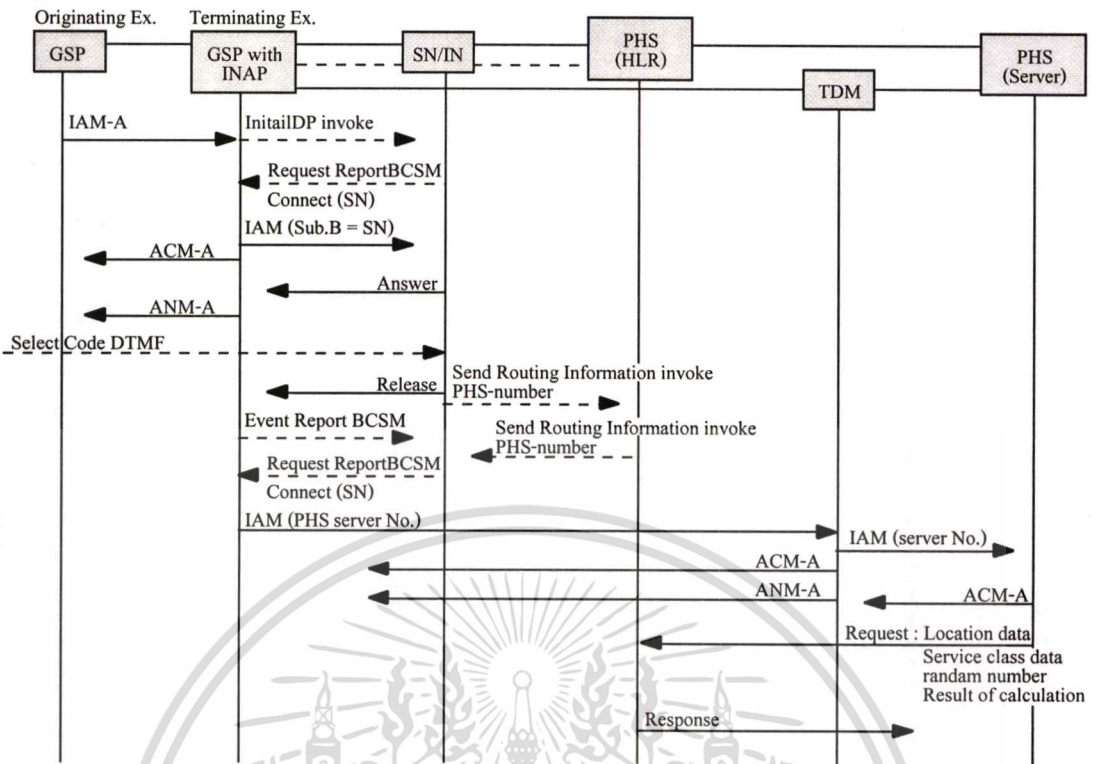
โปรโตคอลที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีทีจะแสดงดังรูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14 โดยรูปที่ 2.13 แสดงโปรโตคอลของการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง ในรูปที่ 2.14 จะเป็นกรณีที่ไม่สามารถทำการแฮนด์โอเวอร์ได้สำเร็จตามขั้นตอนในรูปที่ 2.13 เครื่องโทรศัพท์พีซีทีให้พยายามกลับไปใช้งานช่องสัญญาณที่เซลล์เดิม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



รูปที่ 2.11 โพรโทคอลสำหรับสัญญาณควบคุมหมายเลข 7 และรายละเอียดของสัญญาณควบคุม

2.3.7 รายละเอียดของสถานีเซลล์และเครื่องโทรศัพท์พีซีที

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



รูปที่ 2.12 ลำดับการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

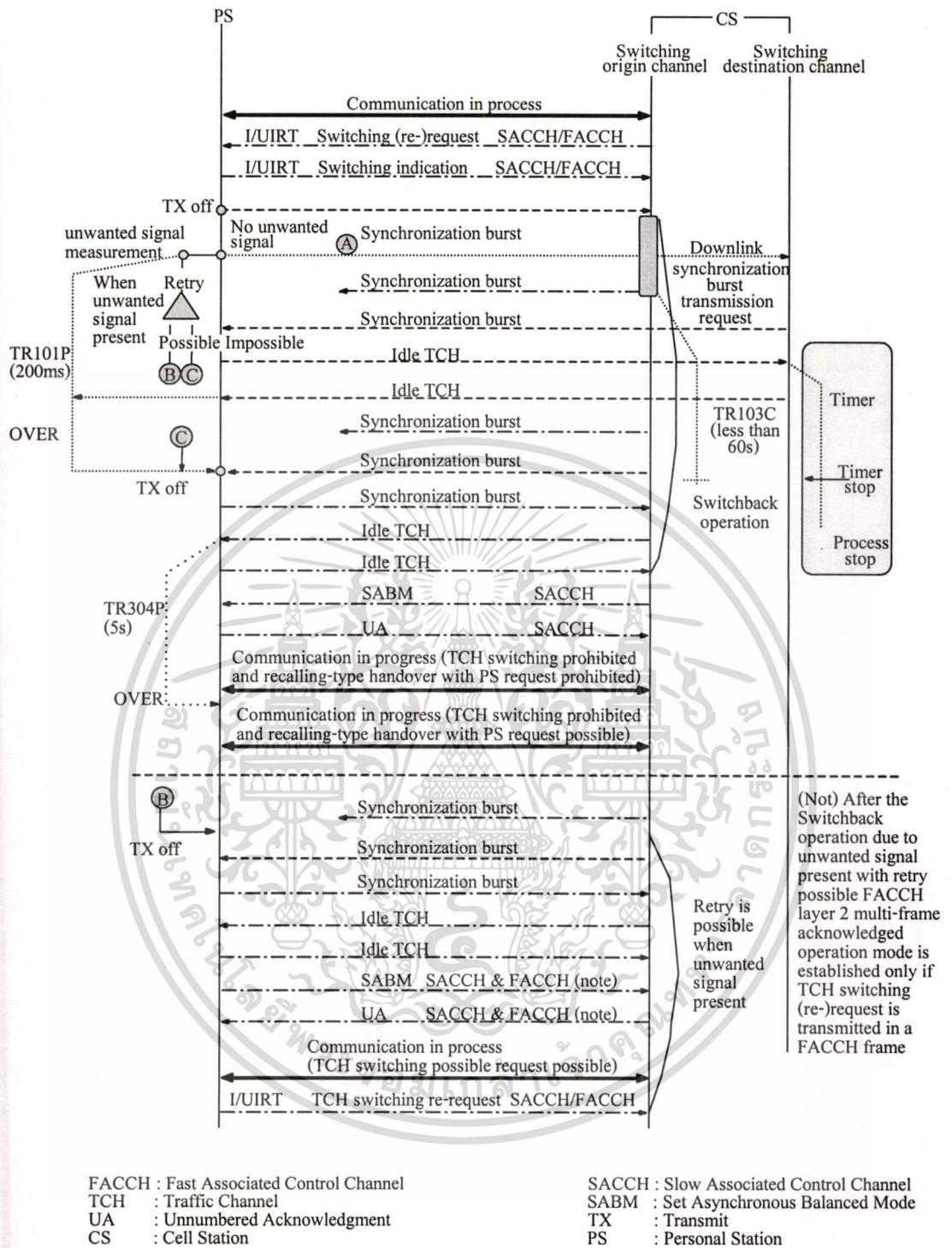
### 2.3.8 สายอากาศของเซลล์สแตนด์ระบบโทรศัพท์พื้นฐานบุคคล PCT

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

### 2.4 กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

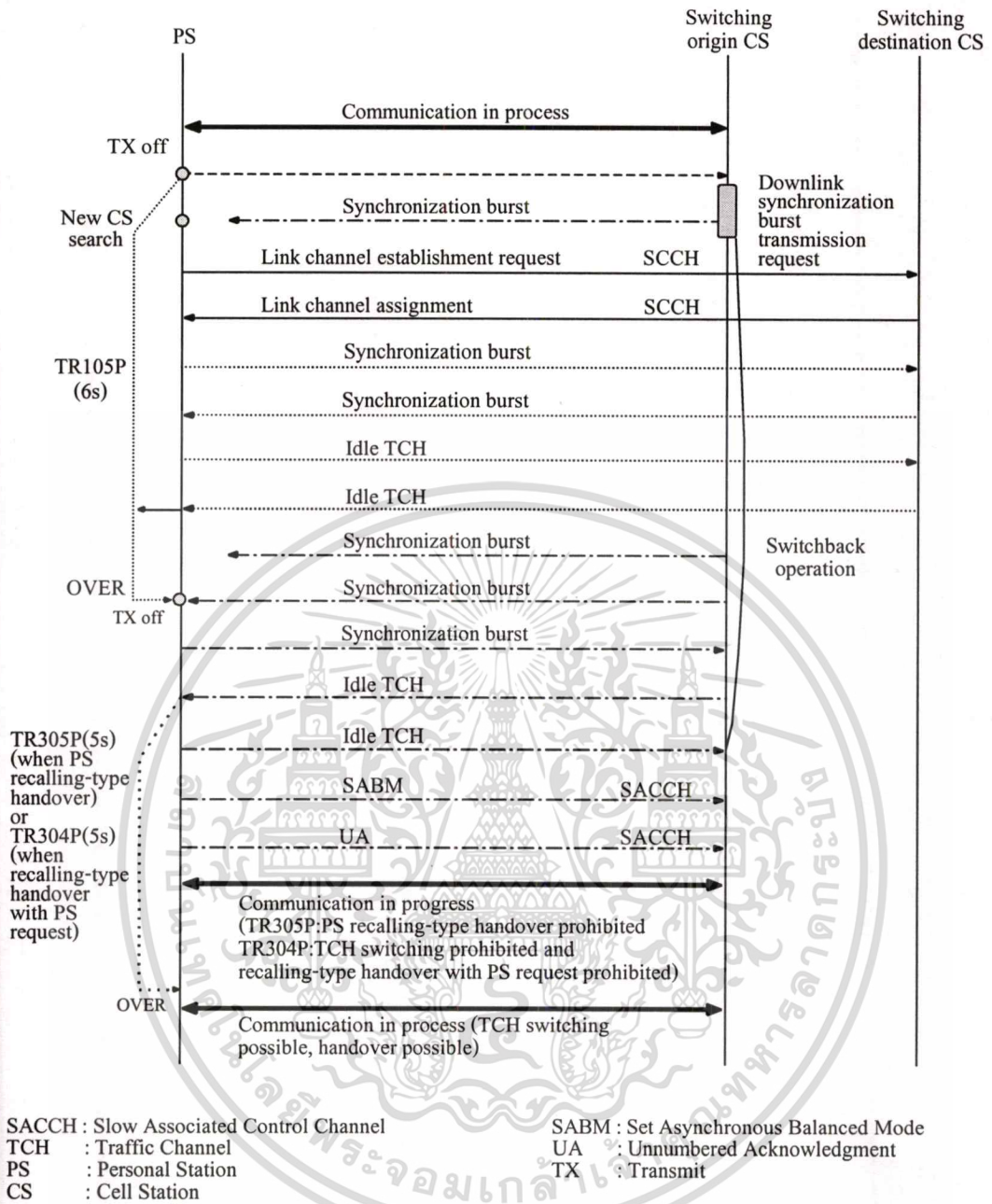
กรรมวิธีในการเรียกของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีทีจะมีรายละเอียดขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.18 จากรูปเมื่อมีการเรียกจากเครื่องโทรศัพท์พีซีที เข้ามายัง PCT Server ข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์พีซีที จะถูกส่งไปยัง HLR (Home Location Register) เพื่อทำการตรวจสอบว่า เป็นผู้ใช้บริการมีการลงทะเบียนกับระบบแล้วหรือไม่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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 โพรโตคอลการแฮนด์โอเวอร์จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 โปรโตคอลของการกลับมาใช้เซลล์เดิมเมื่อทำการแฮนด์โอเวอร์ไม่สำเร็จ



(ก) แบบ 10 mW



(ข) แบบ 20 mW



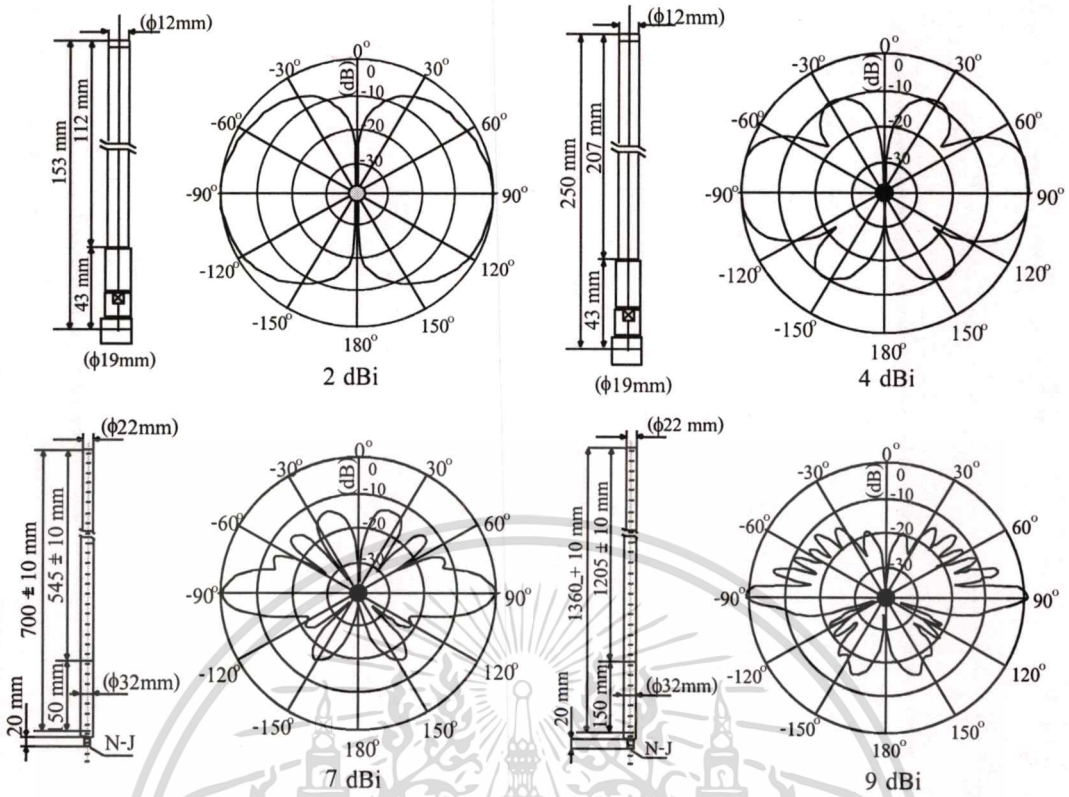
(ค) แบบ 200 mW

รูปที่ 2.15 สถานีเซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

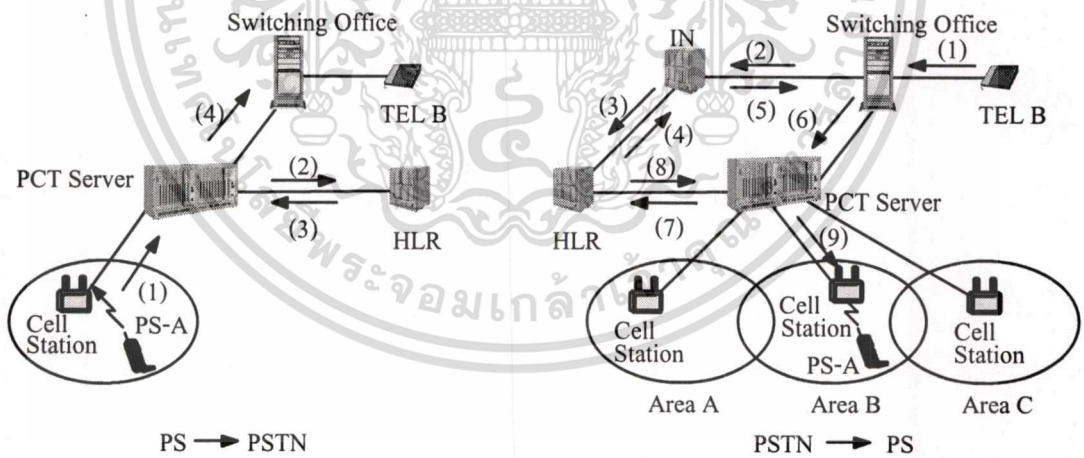


รูปที่ 2.16 เครื่องโทรศัพท์พื้นฐานพกพาส่วนบุคคลพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 สายอากาศของสถานีเซลล์



รูปที่ 2.18 การเชื่อมโยงสัญญาณเมื่อมีการเรียกเข้าและออกจากโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

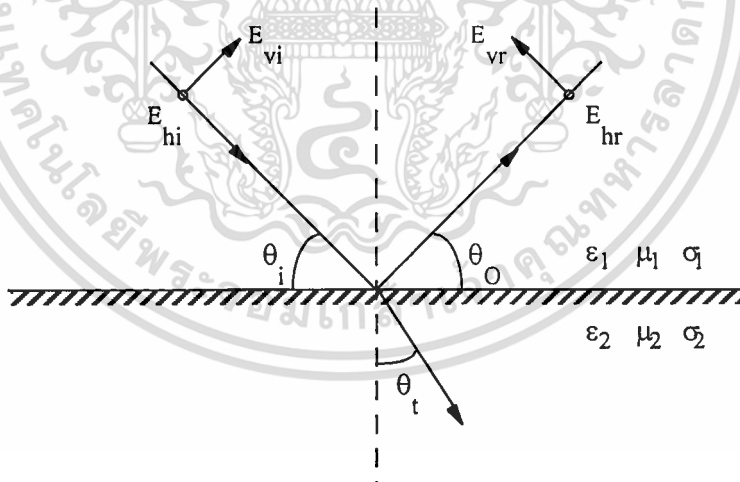
## บทที่ 3

# ทฤษฎีการแพร่กระจายคลื่น

### 3.1 กลไกพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น (Basic propagation Mechanisms)

#### 3.1.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection)

จะเกิดเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบบนสิ่งกีดขวางที่มีมิติกว้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น การสะท้อนเกิดจากพื้นผิวของโลกและสิ่งก่อสร้างหรือจากผนัง ก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นที่อุปกรณ์รับสัญญาณ เมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบตัวกลางสองตัวที่มีค่าไดอิเล็กทริกแตกต่างกัน ส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับและอีกส่วนหนึ่งจะเคลื่อนที่ทะลุผ่าน ในกรณีที่คลื่นตกกระทบอากาศปกตินผิวของตัวนำไฟฟ้า คลื่นจะมีการสะท้อนกลับโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน แต่ถ้าคลื่นตกกระทบบนผิวของฉนวนไฟฟ้า พลังงานส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านเข้าไปในผิว พลังงานอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับและไม่มีการสูญเสียของพลังงานในการดูคลื่น ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าของคลื่นตกกระทบและคลื่นสะท้อนแสดงโดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเฟรสเนล (Fresnel reflection coefficient :  $\Gamma$ )



รูปที่ 3.1 การสะท้อนของคลื่น

จากรูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการตกกระทบและสะท้อนของคลื่น โดยตัวแปร  $v$  และ  $h$  หมายถึงการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ และตัวแปร  $i$  และ  $r$  หมายถึงสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบและสะท้อนตามลำดับ ค่าพอมิตติวิตี ค่าความแทรกซึม และสภาพการนำของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 จะแทนด้วย  $\epsilon_1, \mu_1, \sigma_1$  และ  $\epsilon_2, \mu_2, \sigma_2$  ตามลำดับ ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ตัวกลางที่ 1 เป็นอากาศ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนสำหรับการโพลาริซชันของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวนอน จะแสดงได้ดังสมการที่ (3.1) และสมการที่ (3.2)

$$\Gamma_v = \frac{E_{vr}}{E_{vi}} = \frac{-\epsilon_r \sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}}{\epsilon_r \sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}} \quad (3.1)$$

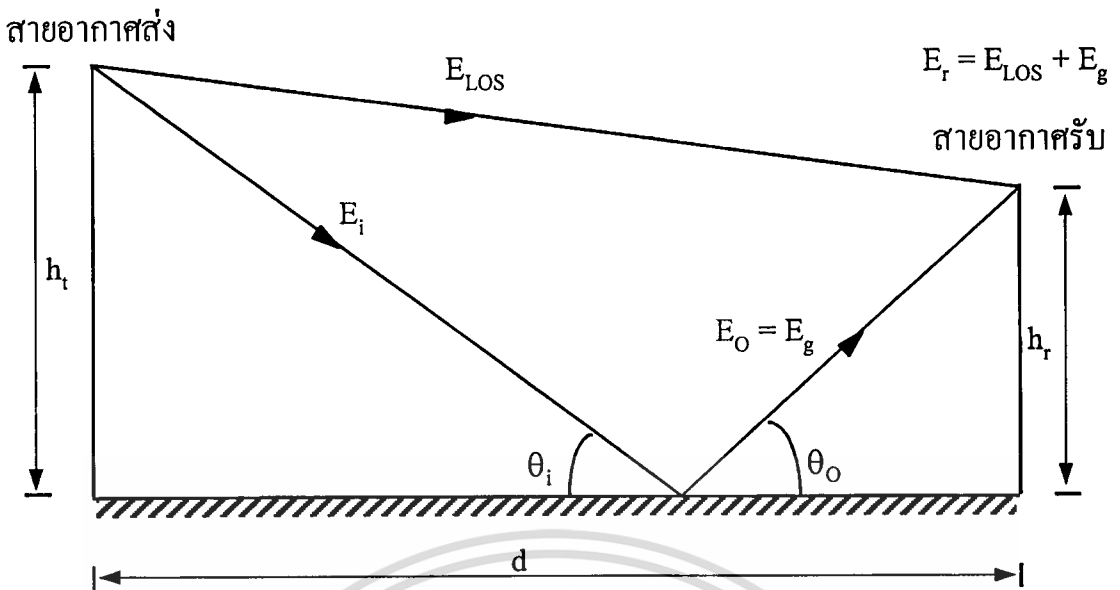
$$\Gamma_h = \frac{E_{hr}}{E_{hi}} = \frac{\sin \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}}{\sin \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \cos^2 \theta_i}} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $\epsilon_r$  เป็นค่าพหุคูณที่สัมพันธ์กันระหว่างตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2  $\theta_i$  เป็นมุมตกกระทบที่ทำให้สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน  $\Gamma_h$  มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะเรียกมุมนี้ว่า มุมของบรูว์สเตอร์ (Brewster angle) โดยสามารถเขียนสมการของค่ามุมบรูว์สเตอร์ ดังสมการที่ (3.3)

$$\sin \theta_i = \frac{\sqrt{\epsilon_r - 1}}{\sqrt{\epsilon_r^2 - 1}} \quad (3.3)$$

การแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศส่งและรับของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา (LOS: Line Of Sight) จะเป็นไปตามสมการการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของฟรีส (free space) ซึ่งเป็นการพิจารณาคลื่นที่เดินทางผ่านสุญญากาศเท่านั้น แต่สำหรับรูปแบบการสะท้อนของคลื่นบนพื้นดินในรูปที่ 3.2 จะเป็นรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่นที่พิจารณาถึงคลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นที่สะท้อนจากพื้นดิน โดยรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นในลักษณะนี้ จะสมมุติให้ความยาวคลื่นมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งกีดขวางทั้งหมด ในกรณีที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งมีค่าน้อย และสมมุติให้ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ ค่าของสนามไฟฟ้าที่รับได้ทั้งหมด จะเป็นผลรวมระหว่างสนามไฟฟ้าในเส้นทางการมองเห็นในระดับสายตา ( $E_{LOS}$ ) หรือสนามไฟฟ้าที่ได้รับจากคลื่นตรงและค่าของสนามไฟฟ้าที่สะท้อนจากพื้นดิน ( $E_g$ ) ที่ระยะทาง  $d_0$  จากรูปกำหนดให้  $h_t$  เป็นความสูงของสายอากาศส่ง และ  $h_r$  เป็นความสูงของสายอากาศรับ ดังนั้นจากกฎของการสะท้อนจะแสดงดังสมการที่ (3.4)

$$\theta_i = \theta_o \quad \text{และ} \quad E_o = \Gamma E_i \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.2 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก

เมื่อ  $\Gamma$  เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นดิน ในกรณีที่ระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับมีระยะไกลมาก ประมาณค่ามุมตกกระทบ ( $\theta_i$ ) ให้มีค่าเป็น 0 องศา และคลื่นสะท้อนจะมีขนาดเท่ากับคลื่นตกกระทบ แต่จะมีความต่างเฟสเป็น 180 องศา ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการแสดงค่าสนามไฟฟ้าทั้งหมดดังสมการที่ (3.5)

$$|E_r(d)| = \frac{2E_{LOS}d_0 \sin \frac{\theta \Delta}{2}}{d} \quad (3.5)$$

โดยค่าความต่างเฟส ( $\theta \Delta$ ) สัมพันธ์กับค่าความแตกต่างของเส้นทาง ( $\Delta$ ) ระหว่างเส้นทางของคลื่นตรงและคลื่นสะท้อน ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (3.6)

$$\theta \Delta = \frac{2\pi \Delta}{\lambda} \quad (3.6)$$

จากรูปที่ 3.2 ถ้าระยะทางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ( $d$ ) มีค่ามาก จะสามารถประมาณได้ดังสมการที่ (3.7)

$$\sin \frac{\theta \Delta}{2} \approx \frac{\theta \Delta}{2} = \frac{2\pi h_t h_r}{\lambda d} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\frac{\theta \Delta}{2}$  มีค่าน้อยมากๆ และค่าสนามแม่เหล็กที่รับได้ มีหน่วยเป็น โวลต์ต่อเมตร จากสมการที่ (3.5) จะได้

$$E_r(d) \approx 2E_{LOS} \frac{2\pi h_t h_r d_0}{\lambda d^2} \approx \frac{k}{d^2} \quad (3.8)$$

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

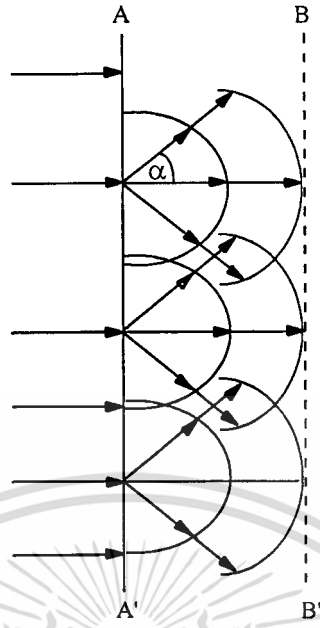
ถ้าระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับมีค่ามากๆ พลังงานที่ได้รับก็จะมีค่าลดลงด้วยอัตรา 40 dB/decade โดยค่าพลังงานที่ได้รับ และค่าของการลดทอนของสัญญาณจะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณจากพื้นดินในหน่วยเดซิเบล ได้ดังสมการที่ (3.9)

$$L(\text{dB}) = -10 \log(G_t) - 10 \log(G_r) - 20 \log(h_t) - 20 \log(h_r) + 40 \log(d) \quad (3.9)$$

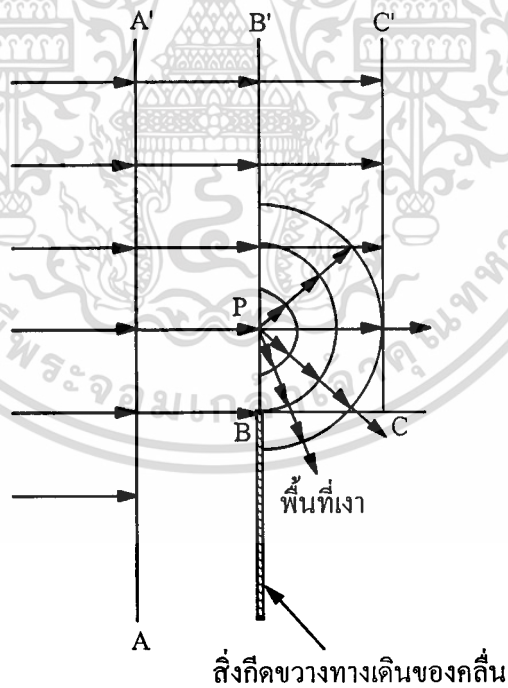
### 3.1.2 การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction)

จะเกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งกีดขวางระหว่างเส้นทางการเดินทางของคลื่นระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณ โดยพื้นผิวของสิ่งกีดขวางมีมุม หรือมีลักษณะที่ไม่เรียบ คลื่นที่มีการเลี้ยวเบนอันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวาง จะมีการเคลื่อนที่ผ่านอากาศ และเคลื่อนที่บริเวณด้านหลังของสิ่งกีดขวาง (ทำให้เกิดเขตพื้นที่เงา) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนของคลื่นที่ความถี่สูง จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางเรขาคณิตของสิ่งกีดขวาง แอมพลิจูด เฟส และการโพลาไรซ์ของคลื่นที่จุดที่มีการเลี้ยวเบน ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของคลื่น สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีเบื้องต้นของฮิวเกน (Huygen's principle) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า “ทุกๆจุดบนคลื่นวิทยุสามารถพิจารณาได้ในลักษณะเช่นเดียวกับแหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สอง ซึ่งสามารถเป็นจุดกำเนิดคลื่นย่อยอื่นๆ และคลื่นย่อยต่างๆ จะประกอบกันเป็นหน้าคลื่นใหม่ในเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น การเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายของหน้าคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดเขตพื้นที่เงา ซึ่งค่าความหนาแน่นของคลื่นที่เกิดจากการเลี้ยวเบนในเขตพื้นที่เงาจะมีการรวมกันแบบเวกเตอร์ของคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นทั้งหมด”

จากรูปที่ 3.3 เมื่อพิจารณาที่ AA' จะเห็นว่ามีเกิดการเกิดคลื่นในแนวต่างๆที่แตกกระจายออกไปในมุม  $\alpha$  ซึ่งมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน ค่าแอมพลิจูดของคลื่นต่างๆ จะมีค่าเป็น  $(1 - \cos \alpha)$  แต่ในทิศทางตรงข้ามมุม  $\alpha$  จะมีค่าเท่ากับศูนย์และมีค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือเท่ากับ 2 ในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งมีมุม  $\alpha$  เท่ากับ  $\pi$  จะมีค่าแอมพลิจูดต่ำสุด คือมีค่าเท่ากับ 1



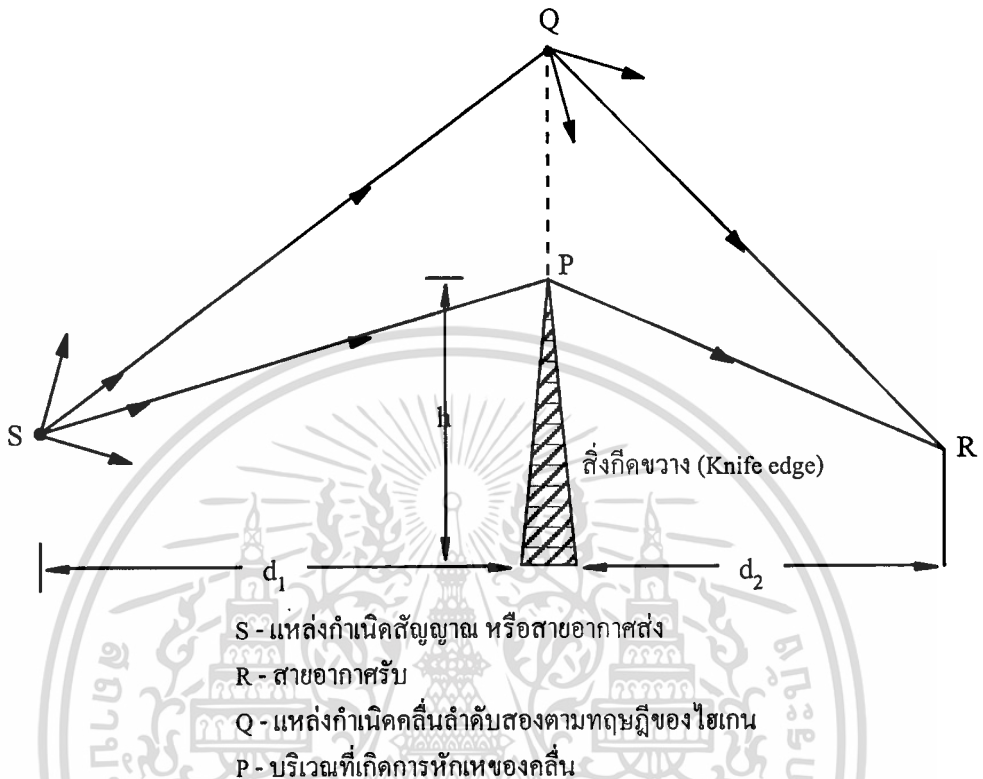
รูปที่ 3.3 หลักการของ Huygen



รูปที่ 3.4 การเลี้ยวเบนของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง

จากรูปที่ 3.4 เมื่อมีเขตพื้นที่เงาเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เช่น อาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่างๆ การลดทอนของสัญญาณจะเกิดจากการหักเหของคลื่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆเหล่านี้ โดยให้ลักษณะของสิ่งกีดขวางเป็นเหลี่ยมแหลม และมีการหักมุม ที่มีลักษณะไม่เรียบ ซึ่งการลดทอนเนื่องจากการเลี้ยวเบนของคลื่นที่เกิดขึ้นบริเวณนี้



รูปที่ 3.5 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen

จากรูปที่ 3.5 ค่าความแรงของสนามไฟฟ้าที่จุด R ในพื้นที่เงา (จะเรียกว่า โชนการเลี้ยวเบน) จะเป็นผลรวมของเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของไฮเกนในพื้นที่เหนือสิ่งกีดขวาง โดยค่าความแรงของสนามไฟฟ้า ( $E_d$ ) ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการเลี้ยวเบนของคลื่นที่บริเวณสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมแหลม จะสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3.10)

$$E_d = E_0 F(\nu) \quad (3.10)$$

โดย  $E_0$  เป็นความแรงของสนามไฟฟ้าในอากาศในบริเวณที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง และ  $F(\nu)$  เป็นฟังก์ชันของค่าพารามิเตอร์การหักเหของเฟรสเนลและไคร์ชอฟฟ์ (Fresnel-Kirchoff diffraction parameter -  $\nu$ ) โดยหาได้จากสมการที่ (3.11)

$$\nu = h\sqrt{(2/\lambda)(d_1+d_2)/d_1d_2} \quad (3.11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $h$  เป็นความสูงของสิ่งกีดขวาง และ  $d_1$  และ  $d_2$  เป็นระยะทางของสิ่งกีดขวางจากสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ตามลำดับ ถ้าสิ่งกีดขวางยื่นออกมาเหนือเส้นทางลากจากจุด S ไปยังจุด R โดยค่าของ  $h$  และ  $v$  จะเป็นบวก แต่ถ้าสิ่งกีดขวางมีระดับต่ำกว่าสถานะการมองเห็นในระดับสายตา ค่าของ  $h$  และ  $v$  จะเป็นลบ สมการการลดทอนเนื่องจากการหักเหในหน่วยเดซิเบลที่เกิดขึ้นจากสิ่งกีดขวาง จะแสดงได้ดังสมการที่ (3.12)

$$L_d = 20 \log |F(v)| \quad (3.12)$$

เนื่องจากลักษณะของสมการการลดทอนเนื่องจากการหักเหที่จะนำไปหาค่าอินทิกรัลของเฟรดเนลนั้น ยากต่อการนำไปคำนวณ ดังนั้นในปี 1985 Lee จึงได้ทำการหาค่าคำตอบโดยประมาณ ในหน่วยของเดซิเบลไว้ดังสมการที่ (3.13) ถึงสมการที่ (3.17)

$$L_d = 0 \quad 1 \leq v \quad (3.13)$$

$$L_d = 20 \log (0.5 + 0.62v) \quad 0 \leq v \leq 1 \quad (3.14)$$

$$L_d = 20 \log (0.5 \exp (0.95v)) \quad -1 \leq v \leq 0 \quad (3.15)$$

$$L_d = 20 \log (0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.1v + 0.38)^2}) \quad -2.4 \leq v \leq -1 \quad (3.16)$$

$$L_d = 20 \log (-0.225/v) \quad v \geq -2.4 \quad (3.17)$$

### 3.1.3 การกระเจิงของคลื่น (Scattering)

จะเกิดขึ้นเมื่อตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน เช่น สิ่งกีดขวางต่างๆ มีขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น และจำนวนของสิ่งกีดขวางต่อหน่วยปริมาตรมีจำนวนมาก ในการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณในสภาพแวดล้อมของคลื่นวิทยุ จะประกอบไปด้วยค่าการลดทอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนและการหักเหของคลื่นควบคู่กัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระ พลังงานสะท้อนจะมีการแตกกระจายออกไปในทุกทิศทาง ดังนั้นสิ่งกีดขวางต่างๆ เช่น ต้นไม้ เสาไฟฟ้า และพื้นผิวขรุขระต่างๆ จะได้รับพลังงานที่กระจายออกมา สำหรับพื้นผิวที่มีความขรุขระมากๆ จะใช้การทดสอบโดยหลักการของ Rayleigh

### 3.2 หลักการแพร่กระจายคลื่น

ระบบโทรศัพท์ไร้สายจะสื่อสารผ่านทางคลื่นวิทยุ โดยการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในอากาศเป็นค่าส่วนกลับกำลังสองกับระยะทางตามทฤษฎี Inverse-square law ถ้ากำหนดให้การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีกระจายรอบทิศทาง (Omni-directional) เมื่อเครื่องส่งมีกำลังงานที่ส่งออกไปเป็น  $P_t$  การแพร่กระจายรอบทิศทางสามารถพิจารณาเป็นวงกลมรอบๆ แหล่งกำเนิดสัญญาณมีรัศมีเป็น  $ds$  เป็นค่าดิฟเฟอเรนเชียลของพื้นที่ผิว (Differential of surface) ทำให้กำลังงานที่จุดใดๆ สามารถเทียบได้กับพื้นที่ส่วนเล็กๆ (A) ของพื้นผิวทรงกลม ค่าความหนาแน่นของกำลังงานแสดงดังสมการที่ (3.18)

$$P_t = P_r(\theta, \varphi) ds \quad (3.18)$$

โดยที่  $P_r$  เป็นกำลังที่รับได้ที่เครื่องรับต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบปกติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดังสมการที่ (3.19)

$$P_r(\theta, \varphi) = \left[ \frac{E_{\theta n}^2(\theta, \varphi) + E_{\varphi n}^2(\theta, \varphi)}{Z_0} \right] \quad (3.19)$$

เมื่อ

$$E_{\theta n}(\theta, \varphi) = \frac{E_{\theta}(\theta, \varphi)}{E_{\theta}(\theta, \varphi)_{max}} \quad (3.20)$$

$$E_{\varphi n}(\theta, \varphi) = \frac{E_{\varphi}(\theta, \varphi)}{E_{\varphi}(\theta, \varphi)_{max}} \quad (3.21)$$

เมื่อ  $Z_0$  เป็นค่าความต้านทานมีค่าเท่ากับ  $377.752 \Omega$

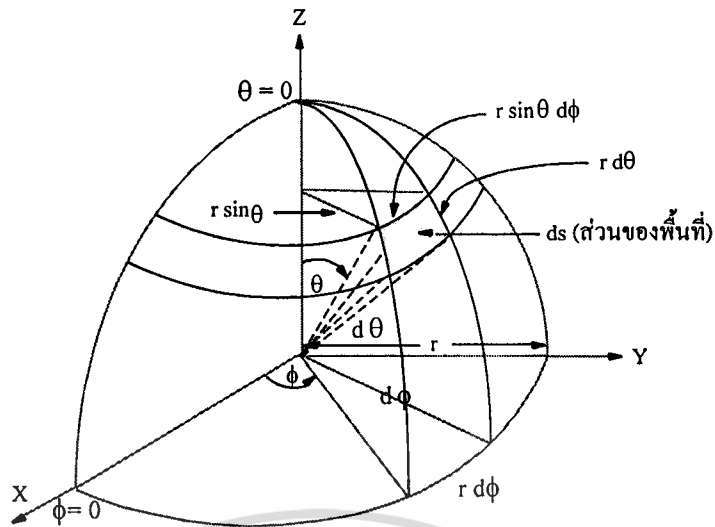
$E_{\theta}(\theta, \varphi)_{max}$  และ  $E_{\varphi}(\theta, \varphi)$  คือค่าสูงสุดของสนามไฟฟ้าในมุมของ  $\theta$  และ  $\phi$

ถ้ากำหนดให้สายอากาศเป็นแบบไอโซโทรปิก (Isotropic antenna) มีพื้นที่ผิวของการแพร่กระจายคลื่นเป็นทรงกลมดังแสดงในรูปที่ 3.6 กำลังที่เครื่องรับแสดงดังสมการที่ (3.23) เมื่อ

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

$$P_t = P_r r^2 \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \sin \theta d\theta d\varphi \quad (3.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิก

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (3.23)$$

$4\pi r^2$  คือ พื้นที่ของการกระจายคลื่นซึ่งเป็นรูปทรงกลมและมีรัศมี  $r$

เมื่อ  $G_r$  คืออัตราการขยายของสายอากาศเครื่องส่ง ดังนั้นความหนาแน่นของกำลังงานในทิศทางของการแพร่กระจายหาได้จากสมการที่ (3.24)

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi r^2} \quad (3.24)$$

สายอากาศของเครื่องรับก็จะติดตั้งในทิศทางที่รับสัญญาณได้สูงสุด เมื่อกำลังงานที่สายอากาศของเครื่องรับได้รับ ( $P_r$ ) มีพื้นที่ในการรับสัญญาณ ค่ากำลังงานที่รับได้ดังสมการที่ (3.25)

$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi r^2} \times \text{พื้นที่ในการรับสัญญาณ} \quad (3.25)$$

กรณีของสายอากาศใดๆก็ตาม อัตราส่วนของการขยายสูงสุดต่อพื้นที่รับสัญญาณแสดงดังสมการที่ (3.26)

$$\frac{\text{พื้นที่ในการรับสัญญาณ}}{G_r} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (3.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\lambda$  คือความยาวคลื่นของคลื่น,  $G_r$  คืออัตราขยายของสายอากาศรับหาได้จากสมการในการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของฟรีอิส (Friis free-space) ดังสมการที่ (3.27)

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 r^2 L} \quad (3.27)$$

- เมื่อ  $P_t$  เป็นกำลังงานของเครื่องส่งในการส่งสัญญาณ  
 $P_r$  เป็นกำลังงานที่เครื่องรับได้รับ  
 $G_t$  เป็นอัตราขยายของสายอากาศส่ง  
 $G_r$  เป็นอัตราขยายของสายอากาศรับ  
 $r$  เป็นระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งมีหน่วยเป็นกิโลเมตร  
 $L$  เป็นการลดทอนของระบบ ( $L > 1$ )  
 $\lambda$  เป็นความยาวคลื่นมีหน่วยเป็นเมตร

จะเห็นว่ากำลังงานที่เครื่องได้รับ จะแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่งยกกำลังสองและแปรผกผันกับความถี่ยกกำลังสองอีกด้วย ถ้าระยะทางหรือความถี่เพิ่มขึ้น 2 เท่า จะทำให้กำลังงานที่ได้รับน้อยลง 4 เท่าจากค่าเดิม สมการลดทอนเนื่องจากระยะทาง (Path Loss) ในหน่วยเดซิเบล (dB) หาได้จากสมการที่ (3.28)

$$L = 10 \log \frac{P_t}{P_r} = P_t (dB) - P_r (dB) \quad (3.28)$$

นิยามของการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นจะรวมอัตราขยายของสายอากาศหรือไม่ก็ได้ การแพร่กระจายคลื่นใน free-space กำลังที่  $d$  ได้รับที่ระยะทาง  $d$  จากตัวส่งหาได้จากสมการที่ (3.29)

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \quad (3.29)$$

การแพร่กระจายคลื่นใน Free-Space ค่าการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่นหาได้จากสมการที่ (3.30)

$$L = 10 \log \left( \frac{(4\pi)^2 d^2}{G_t G_r \lambda^2} \right) = K + 20 \log d + 20 \log f - 10 \log G_t - 10 \log G_r \quad (3.30)$$

เมื่อ  $f$  เป็นความถี่ของสัญญาณที่ส่ง-รับและ  $K$  เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับหน่วยของ  $d$  และ  $f$  ตัวอย่างเช่น  $d$  มีหน่วยเป็นกิโลเมตรและ  $f$  มีหน่วยเป็น MHz จะได้  $K = 32.44$  เมื่ออัตราขยายของสายอากาศเป็น 1 สมการการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นจากสมการที่ (3.30) จะลดรูปได้เป็นสมการที่ (3.31)

$$L = 10 \log \left( \frac{(4\pi)^2 d^2}{G_t G_r \lambda^2} \right) = K + 20 \log d + 20 \log f \quad (3.31)$$

ความแรงของสัญญาณที่รับได้ (field strength)  $|E|$  แทนกำลังคำนวณหาได้จากสมการที่ (3.32)

$$|E| = \sqrt{\frac{P_r \eta 4\pi}{G_r \lambda^2}} \quad (3.32)$$

เมื่อ  $\eta$  คือ คุณสมบัติของอิมพีแดนซ์ของคลื่น (wave impedance) ของคลื่นที่สูญญากาศมีค่าเท่ากับ  $120\pi\Omega$

### 3.3 โมเดลของการแพร่กระจายคลื่น

โมเดลของการแพร่กระจายคลื่นแบ่งออกเป็น 3 แบบ [28] ดังนี้

**Empirical models** เป็นการอธิบายโดยใช้สมการที่ได้จากวิธีการทางสถิติจากผลการวัดหลายๆ ครั้ง ไม่มีรายละเอียดของสภาพแวดล้อม จะใช้ได้ง่ายและรวดเร็วโดยการประมาณค่า

**Deterministic model** ใช้พื้นฐานการประยุกต์ทางเทคนิคของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดตามสภาพแวดล้อม รายละเอียดของสิ่งก่อสร้าง และข้อมูลความสูงของพื้นดิน จากข้อมูลเหล่านี้ จะนำมาหาผลกระทบโดยใช้ทฤษฎีสานแม่เหล็ก โมเดลนี้จะใช้วิธี ray-tracing [29]

**Semiempirical หรือ Semideterministic models** จะเป็นสมการที่ได้จากการประยุกต์หลักการ Deterministic สร้างโมเดลสำหรับเมืองและภายในอาคาร บางครั้งปรับปรุงสมการใหม่ให้ถูกต้องโดยการวัด ผลของสมการที่ได้เป็นฟังก์ชันของพื้นที่บริเวณติดตั้งสายอากาศ หลักการนี้ต้องการข้อมูลสภาพแวดล้อมมากกว่าหลักการ Empirical แต่น้อยกว่าหลักการ Deterministic

### 3.4 โมเดลการลดทอนเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นของเซลล์

การหาค่าการลดทอนของสัญญาณเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบระบบสื่อสารไร้สาย ความสำเร็จในการหาค่าการลดทอน จะขึ้นอยู่กับกำหนัดค่าพารามิเตอร์ของระบบอย่างถูกต้องได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ความสูงและจำนวนของสิ่งก่อสร้าง ฯลฯ ในเขตพื้นที่ตัวเมือง สิ่งก่อสร้างต่างๆจะมีผลอย่างมากต่อการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณ ได้มีกลุ่มบุคคลต่างๆได้พยายามหาลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นโดยวิธีการทำนาย (Prediction Techniques) ที่จะทำการหาโมเดลการในการแพร่กระจายของคลื่น เทียบกับระดับของสัญญาณที่ใช้งานจริง โดยจะทำการศึกษาจากหลายๆ พื้นที่ มีเทคนิคในการหาที่แตกต่างกันไปในแต่ละสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ค่าที่ได้จากวิธีการทำนายการแพร่กระจายของคลื่น จะเป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญมากในการวางแผนโครงข่ายระบบโทรศัพท์ไร้สาย ก่อนที่จะมีการติดตั้งระบบใช้งานจริงในพื้นที่ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.4.1 โมเดลของ Okumura [16]

จะเป็นการหาค่าการลดทอนจากกราฟความแรงของสัญญาณที่วัดรอบๆกรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ที่ความสูงของสายอากาศส่ง  $h_t$  เท่ากับ 200 เมตร และความสูงของสายอากาศรับ  $h_r$  เท่ากับ 3 เมตร ซึ่งสามารถที่จะกำหนดความสัมพันธ์ของการแพร่กระจายของคลื่น ได้ดังสมการที่ (3.33)

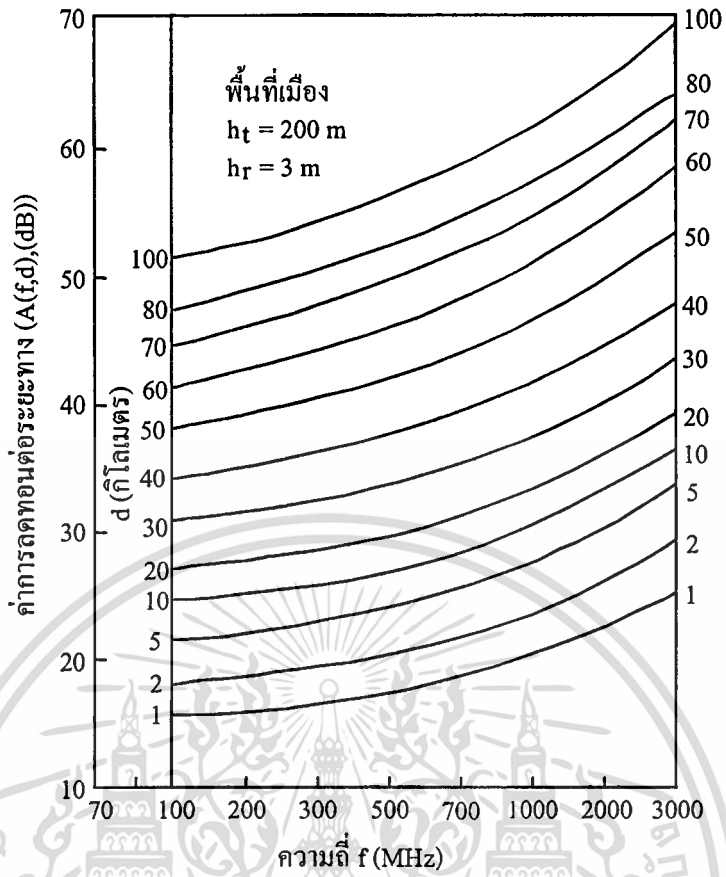
$$L = L_F + A(f, d) - G_{AREA} - G(h_t) - G(h_r) \quad (3.33)$$

จากรูปที่ 3.7 แสดงค่า  $A(f, d)$  ซึ่งเป็นค่ากลางของการลดทอนของพื้นที่ในตัวเมืองที่มีพื้นที่ราบเรียบและมีความแตกต่างของระดับพื้นดินไม่เกิน 20 เมตร และค่า  $G(h_r)$  เป็นค่าอัตราการขยายกำลังเนื่องจากความสูงของสายอากาศส่ง ดังรูปที่ 3.8 จะได้สมการที่ (3.34)

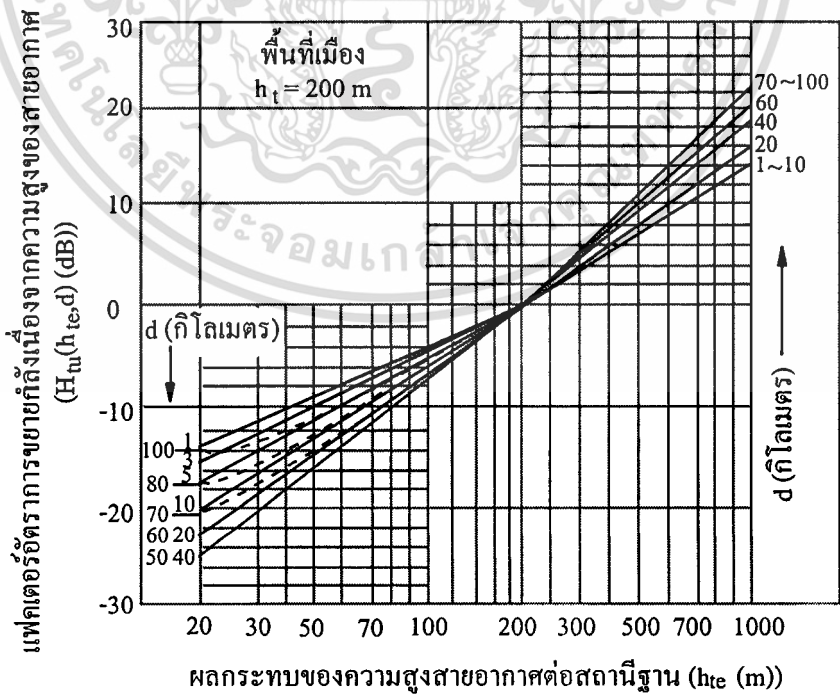
$$G(h_t) = 20 \log \frac{h_t}{200} \quad \text{โดยที่ } h_t > 10 \text{ เมตร} \quad (3.34)$$

ส่วนค่า  $G(h_r)$  เป็นค่าอัตราการขยายกำลังเนื่องจากความสูงของสายอากาศรับ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (3.35) ค่า  $G_{AREA}$  เป็นค่าแฟคเตอร์ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของค่าพารามิเตอร์  $A(f, d)$  โดยค่าของ  $G_{AREA}$  ดังแสดงในรูปที่ 3.10

$$\begin{aligned} G(h_r) &= 10 \log \frac{h_r}{3} && \text{เมื่อ } h_r < 3 \text{ เมตร} \\ G(h_r) &= 20 \log \frac{h_r}{3} && \text{เมื่อ } 3 \text{ เมตร} \leq h_r \leq 10 \text{ เมตร} \end{aligned} \quad (3.35)$$

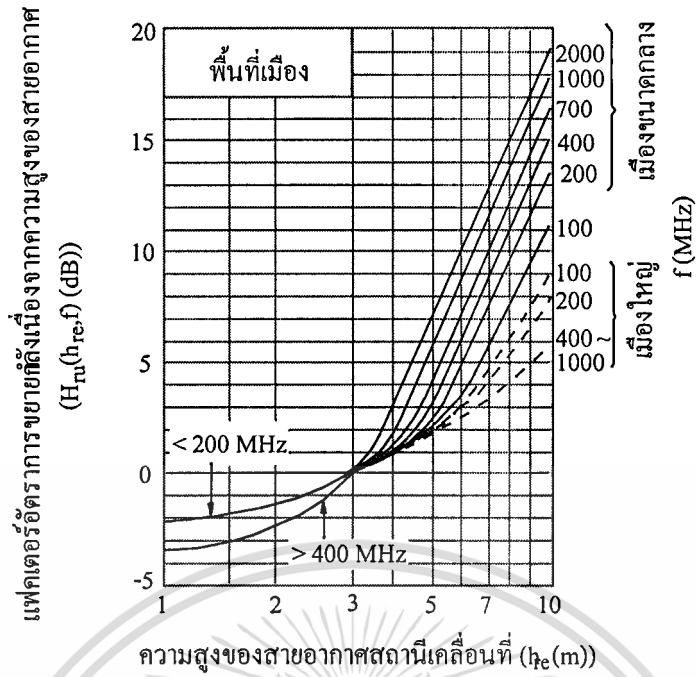


รูปที่ 3.7 ค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการลดทอนสัญญาณ  $A(f,d)$

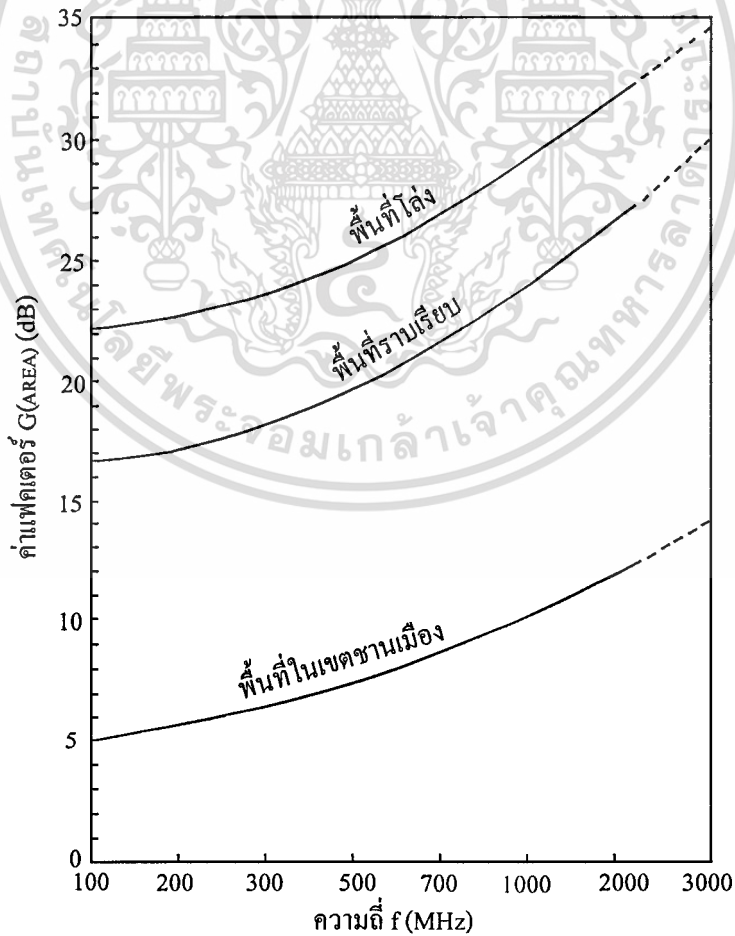


รูปที่ 3.8 ค่าอัตราการขยายกำลังจากผลความสูงของสายอากาศส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ค่าอัตราการขยายกำลังจากผลความสูงของเสาอากาศ



รูปที่ 3.10 ค่าแอมพลิจูด  $G(\text{AREA})$  ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของ  $A(f, d)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 โมเดลของ Okumura- Hata

เป็น Empirical model ที่พัฒนาจากกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณในกรุงโตเกียวของ Okumura ที่ย่านความถี่ 150, 450 และ 900 MHz [16] โมเดลที่ใช้หาการสูญเสียในสภาพแวดล้อมต่างๆ สำหรับสภาพแวดล้อมเมือง [17] จะมีการลดทอนเนื่องจากระยะทางการตั้งสมการที่ (3.36)

$$L_u = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_t - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log d \quad (3.36)$$

เมื่อ  $f$  ความถี่ช่วง 150 MHz ถึง 1500 MHz  
 $h_t$  ความสูงสายอากาศเครื่องส่งช่วง 30 ถึง 200 เมตร  
 $h_m$  ความสูงสายอากาศเครื่องรับช่วง 1 ถึง 10 เมตร  
 $d$  ระยะทางระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่งในช่วง 1 ถึง 20 กิโลเมตร  
 $a(h_m)$  คือ correction factor ที่ขึ้นอยู่กับสายอากาศส่งและรับ ความถี่ และขนาดการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ สำหรับเมืองขนาดกลางและเล็ก

$$a(h_m) = (1.1 \log f - 0.7) h_m - (1.56 \log f - 0.8) \quad (3.37)$$

สำหรับเมืองใหญ่

$$a(h_m) = 8.29(\log 1.54 h_m)^2 - 1.1 \quad \text{เมื่อ } f \leq 200 \text{ MHz} \quad (3.38)$$

$$a(h_m) = 3.2(\log 11.75 h_m)^2 - 4.97 \quad \text{เมื่อ } f \geq 400 \text{ MHz} \quad (3.39)$$

ในสภาพแวดล้อมชานเมือง

$$L_{su} = L_u - 2 \left[ \log \left( \frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5.4 \quad (3.40)$$

ในสภาพแวดล้อมชนบท

$$L_r = L_u - 4.78 \log^2 f + 18.33 \log f - 4.94 \quad (3.41)$$

โมเดลนี้ใช้สำหรับระบบสื่อสารเคลื่อนที่ที่เซลล์มีขนาดใหญ่ แต่ไม่สามารถใช้กับเซลล์ที่มีรัศมีต่ำกว่า 1 กิโลเมตร ที่ใช้ในระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล

### 3.4.3 โมเดล COST 231-Hata [21]

เป็นโมเดลที่ปรับปรุงจากโมเดลของ Okumura-Hata ที่ครอบคลุมย่านความถี่ 1500 ถึง 2000 MHz [21] เป็นโมเดลที่ปรับปรุงสำหรับระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลที่ย่านความถี่ 1900 MHz ค่าการลดทอนเนื่องจากระยะทางหาได้จากสมการที่ (3.42)

$$L_u = 46.3 + 33.9 \log f - 13.82 \log h_t - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log d + C_M \quad (3.42)$$

เมื่อ  $C_M =$  +3 dB ในพื้นที่เมืองที่หนาแน่น 0 dB สำหรับพื้นที่เมือง  
-12 dB สำหรับพื้นที่ชานเมือง และ -27 dB สำหรับพื้นที่ชนบท  
 $f$  ความถี่ช่วง 1,500 MHz ถึง 2,000 MHz

### 3.4.4 โมเดล Lee [20]

เป็น Empirical Model สำหรับไมโครเซลล์ในสภาพแวดล้อมเมืองและชานเมืองในการทำนายกำลังที่รับได้  $P_r$  ในหน่วย dBm ดังแสดงในสมการที่ (3.43)

$$P_r = A - B \log d - n \log \left( \frac{f}{900} \right) + \log \alpha \quad (3.43)$$

เมื่อ  $d$  คือระยะทางระหว่างสายอากาศรับ-ส่งหน่วยเป็นกิโลเมตร,  $f$  คือความถี่หน่วยเป็น MHz, ตัวแปร  $A$  และ  $B$  จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ที่ได้จากการวัดในหลายๆเมืองที่มีลักษณะแตกต่างกันซึ่งใช้ค่าดังนี้

$$A, B = \begin{cases} 53.9, 38.4; & \text{พื้นที่ชานเมือง} \\ 62.5, 36.8; & \text{เมืองฟิลาเดเฟีย} \\ 55.2, 43.4; & \text{เมืองนิวยอร์ก} \\ 77.8, 30.5; & \text{เมืองโตเกียว} \end{cases}$$

โดย  $n$  จะมีค่าดังนี้

$$n = \begin{cases} 2, & \text{ในพื้นที่ชานเมืองและ } f < 450 \text{ MHz} \\ 3, & \text{ในพื้นที่เมืองและ } f > 450 \text{ MHz} \end{cases} \quad (3.44)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์  $\alpha$  หาได้จาก

$$\alpha = \frac{h_t^2 h_r^m P_t g_t g_r}{3660} \quad (3.45)$$

เมื่อ  $h_t$  และ  $h_r$  คือความสูงของสายอากาศส่งและรับ หน่วยเป็นเมตร,  $P_t$  คือกำลังส่งหน่วยเป็นวัตต์,  $g_t$  และ  $g_r$  คืออัตราขยายของสายอากาศส่ง-รับและ  $m$  ขึ้นอยู่กับความสูงของสายอากาศด้านรับมีรายละเอียดดังนี้

$$m = \begin{cases} 2, \text{เมื่อ } h_r > 10m \\ 1, \text{เมื่อ } h_r \leq 10m. \end{cases} \quad (3.46)$$

### 3.4.5 โมเดล McGeehan and Griffiths [31]

เป็น Empirical Model ที่ปรับปรุงจากสมการที่เกิดจากการสะท้อนพื้น การลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นดังสมการที่ (3.47)

$$L = 120 - 20 \log(h_b h_m) + 40 \log d + 30 \log f + A \quad (3.47)$$

$h_b$  คือความสูงสายอากาศเครื่องส่ง,  $h_m$  ความสูงสายอากาศเครื่องรับ,  $f$  คือความถี่หน่วยเป็น MHz,  $d$  คือระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ และ  $A$  คือค่าการเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมมีรายละเอียดดังนี้

$$A = \begin{cases} 45 \pm 5 & \text{สำหรับเมืองเก่าๆที่แคบมีถนนที่คดเคี้ยว} \\ 55 \pm 5 & \text{สำหรับเมืองใหม่ที่ยาวมีถนนที่ตรงและกว้าง} \\ 65 \pm 5 & \text{สำหรับพื้นที่ชานเมืองหรือบางที่ในชนบท} \\ 75 \pm 5 & \text{สำหรับพื้นที่โล่ง} \end{cases}$$

### 3.4.6 โมเดล Atefi และ Parson [32]

เป็น Empirical Model ทำนายการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นดังสมการที่ (3.48)

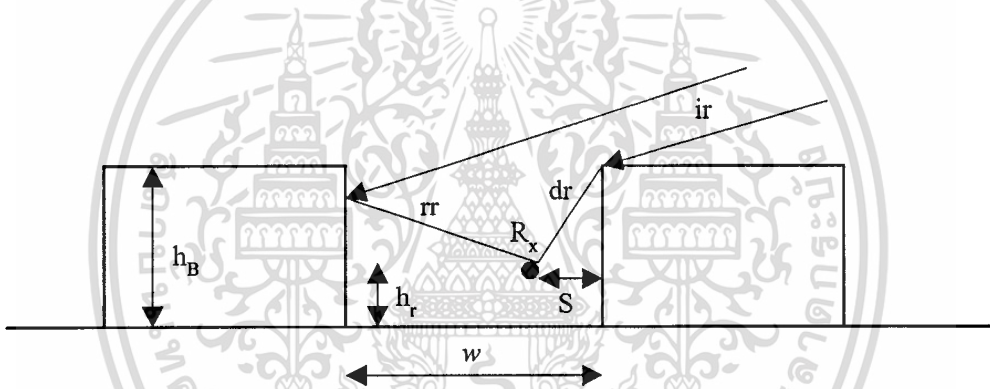
$$L = 82 + 26.16 \log f + 38 \log d - 21.8 \log h_b - 0.15 h_m + L_D \quad (3.48)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $h_b$  คือความสูงสายอากาศส่ง,  $h_m$  คือความสูงสายอากาศรับ,  $f$  คือความถี่หน่วยเป็น MHz,  $d$  ระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ และ  $L_D$  จำนวนการลดทอนที่เกิดจากการหักเห คำนวณโดยใช้หลักการ Epstein-Peterson[33]

### 3.4.7 โมเดล Ikegami [34]

เป็น semideterministic Model สำหรับสภาพแวดล้อมเมืองหาค่าได้จากโมเดล GTD (Geometrical theory of diffraction) และเทคนิค PO (Physical optics) เป็นการประยุกต์กับสภาพเมืองในอุดมคติ ที่สิ่งก่อสร้างมีความสูงเป็นมาตรฐาน (unifrom) จะสมมุติว่ามีการแพร่กระจายคลื่นแบบ NLOS และมีเฉพาะสองเส้นทาง 1. เส้นทางที่เกิดจากการเลี้ยวเบนที่เกิดจากขอบของอาคารสุดท้ายก่อนถึงเครื่องโทรศัพท์(dr) 2. เส้นทางที่เกิดจากการสะท้อนที่เกิดจากผนังตึกถัดไป (rr) ภายในสภาวะดังกล่าวดังแสดงในรูปที่ 3.11 การลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นหาได้จากสมการที่ (3.49)



รูปที่ 3.11 สภาพแวดล้อมและทิศทางของคลื่นของโมเดล Ikegami

$$L = 26.65 + 30 \log f + 20 \log d - \log \left( 1 + \frac{3}{l_r^2} \right) - 10 \log w \quad (3.49)$$

$$+ 20 \log(h_B - h_r) + 1 \log(\sin \phi)$$

เมื่อ  $f$  คือความถี่หน่วยเป็นMHz,  $d$  คือระยะทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง,  $w$  คือความกว้างของถนนที่ตำแหน่งเครื่องรับอยู่,  $h_b$  คือความสูงของอาคาร,  $h_r$  ความสูงสายอากาศของเครื่องรับ,  $\phi$  มุมที่เกิดจากแกนถนนทิศทางของคลื่น (ir) และ  $L_r$  คือพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับการสัมผัสประสิทธิผลแต่ละด้านของอาคาร  $L_r$  ในย่าน UHF เท่ากับ 3.2

### 3.4.8 โมเดล Walfisch and Bertoni [35]

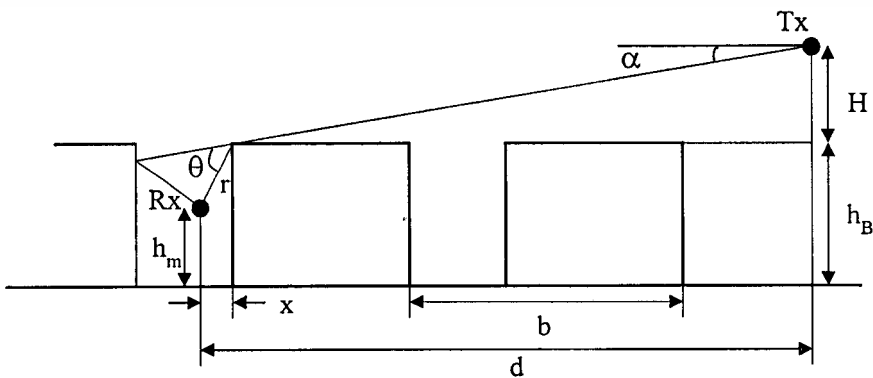
โมเดลนี้เรียกว่า diffraction screen เป็นโมเดล semideterministic ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่เมืองและชานเมือง สมการแพร่กระจายคลื่นมาจากโมเดลอุดมคติของเมืองที่สิ่งก่อสร้างมีรูปแบบแถวขนานมีความสูงและความกว้างเป็นมาตรฐาน โมเดลจะใช้เมื่อเครื่องส่งและเครื่องรับ อยู่ในตำแหน่ง NLOS สนามจะแพร่กระจายจากตัวส่งไปยังสายอากาศตัวรับ ได้รับคลื่นหักเหจากอาคาร การประมาณสนามที่เครื่องรับ แถวคือโมเดลที่กำหนดการดูดกลืนของส่วนที่ทำให้เกิดการหักเหจะส่งผลต่อการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงกับของอาคาร คลื่นสุดท้ายคือการหักเหและคลื่นตรงจะสะท้อนอาคารถัดไปและแผ่ไปยังตัวรับ การประมาณการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นได้จากสมการที่ (3.50)

$$L = 89.55 + 21 \log f + 38 \log d - 18 \log H + A - 18 \log \left( 1 - \frac{d^2}{17H} \right) \quad (3.50)$$

เมื่อ  $f$  คือความถี่หน่วยเป็น MHz,  $d$  คือระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับหน่วยเป็นกิโลเมตร,  $H$  คือค่าเฉลี่ยความสูงของสายอากาศรับ-ส่งที่คาดว่าเป็นสูงของอาคารรอบๆ และ  $A$  คือส่วนที่ส่งผลมาจากอาคารหาได้จากสมการที่ (3.51)

$$A = 5 \log \left[ \left( \frac{b}{2} \right)^2 + (h_B - h_m)^2 \right] - 9 \log b + 20 \log \left\{ \operatorname{tg}^{-1} \left[ \frac{2(h_B - h_m)}{b} \right] \right\} \quad (3.51)$$

เมื่อ  $h_B$  ความสูงของอาคาร(เมตร),  $h_m$  ความสูงของอาคารที่ใกล้กับตัวรับ (เมตร),  $b$  ความกว้างระหว่างแถวคิงรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 สภาพแวดล้อมและทิศทางของคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.9 โมเดล Xia และ Bertoni [36-37]

โมเดล Walfisch และ Bertoni จะปรับปรุงสายอากาศเครื่องส่งต่ำกว่าหลังคา โมเดลนี้ต้องการระยะทางระหว่างเครื่องส่งและแผ่นของขอบที่ใกล้ที่สุดที่คล้ายกับระยะทางระหว่างแถวของอาคาร การลดทอนตามระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นที่เครื่องรับคำนวณจากสมการที่ (3.52)

$$L = L_0 + L_1 + L_2 \quad (3.52)$$

เมื่อ  $L_0$  การสูญเสียใน free-space หาได้จากสมการ (3.30),  $L_1$  เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการหักเหครั้งสุดท้ายที่เกิดจากระดับต่ำกว่าหลังคา และ  $L_2$  จำนวนเส้นทางการหักเหระหว่างหลังคาที่ขอบสุดท้ายก่อนถึงเครื่องรับ เทอมที่สอง ได้จากสมการ GTD/UTD ดังสมการที่ (3.53)

$$L_1 = 10 \log \left[ \frac{D^2(\theta)}{\pi k \cos \phi r} \right] \quad (3.53)$$

จากรูปที่ 3.12  $r$  คือระยะทางจากขอบถึงเครื่องรับ,  $x$  คือระยะทางแกนนอนที่หักเหจากขอบของอาคารถึงเครื่องรับ(เมตร),  $k$  คือจำนวนคลื่น(เมตร<sup>-1</sup>),  $\phi$  คือมุมที่เกิดจากแกนนอนกับทิศทางคลื่นในเส้นทางตรงระหว่างสายอากาศรับ-ส่ง,  $\theta$  คือ มุมที่เกิดจากคลื่นที่หักเหกับแนวนอน และ  $D(\theta)$  คือ สัมประสิทธิ์การหักเห UTD หาได้จากสมการที่ (3.54)

$$D(\theta) = \frac{1}{\theta} - \frac{1}{\theta + 2\pi} \quad (3.54)$$

เมื่อสมการที่ (3.53) ไม่สามารถหาค่าได้ และ สัมประสิทธิ์การหักเห UTD จะได้ค่าของ  $\theta$  น้อยลงถ้าขอบเกิดจากผนังและหลังคา เมื่อ

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{h_B - h_m}{x} \right) \quad (3.55)$$

$$r = \sqrt{x^2 + (h_B - h_m)^2} \quad (3.56)$$

เทอมที่ 3 ( $L_2$ ) ได้จากการประยุกต์ของ PO สำหรับหลายๆคลื่นที่หักเห ผลที่ได้จากสมการ (3.57)

$$L_2 = 20 \log Q(g_p) \quad (3.57)$$

เมื่อ  $Q$  คือ 
$$Q(g_p) = 3.502g_p - 3.327g_p^2 + 0.962g_p^3 \quad (3.58)$$

$g_p$  คือ พารามิเตอร์ขนาดน้อยที่สุดหาได้จาก

$$g_p = tg^{-1} \left( \frac{H}{1000d} \right) \sqrt{\frac{b \cos \phi}{\lambda}} \quad (3.59)$$

เมื่อ  $\lambda$  คือความยาวคลื่น จากสมการที่ (3.58) จะใช้  $g_p$  ในช่วง  $0.01 < g_p < 1.0$  ซึ่งเหมาะสมกับไมโครเซลล์ โมเดลนี้สมมติว่าพื้นเรียบ

### 3.4.10 โมเดล COST-231-Walfisch-Ikegami Model [21]

เป็นโมเดล semiderterministic เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมเมือง โดยใช้โมเดลพื้นฐาน Walfisch – Bertoni และโมเดล Ikegami เป็นการรวม empirical model ที่ปรับปรุงสำหรับเมืองในทวีปยุโรปที่ไม่กำหนดตำแหน่งของสายอากาศส่งที่เกี่ยวข้องกับระดับหลังคา ตามโมเดล Walfisch – Bertoni การสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่นคำนวณจากผลรวมสามส่วนดังแสดงในสมการที่ (3.60)

$$L = L_0 + L_1 + L_2 \quad (3.60)$$

เมื่อ  $L_0$  การสูญเสียใน free-space จาก (3.30),  $L_1$  เป็นการสูญเสียที่เกิดจากการหักเหครั้งสุดท้ายที่เกิดจากระดับต่ำกว่าระดับหลังคา และ  $L_2$  จำนวนเส้นทางการหักเหระหว่างหลังคาสุดท้ายก่อนถึงเครื่องรับ เทอมที่สอง หาได้จากสมการที่ (3.61)

$$L_1 = -16.9 - 10 \log w + 10 \log f + 20 \log(h_R - h_m) + L_{11}(\phi) \quad (3.61)$$

เมื่อ  $w$  คือความกว้างของถนนที่เครื่องรับอยู่ (เมตร),  $h_R$  คือค่าเฉลี่ยความสูงของอาคาร (เมตร),  $h_m$  คือความสูงสายอากาศเครื่องรับ (เมตร) และ

$$L_{11}(\phi) = \begin{cases} -10 + 0.3571\phi \\ 2.5 + 0.075(\phi - 35^\circ) \\ 4 - 0.1114(\phi - 55^\circ) \end{cases} \quad (3.62)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\phi$  คือมุมระหว่างแกนถนนกับเส้นจากสายอากาศรับ-ส่ง เหนือที่ 3 มีรายละเอียดดังนี้

$$L_2 = L_{21} + k_a + k_d \log d + k_f \log f - 9 \log b \quad (3.63)$$

ที่

$$L_{21} = \begin{cases} -18 \log(1 + h_B - h_R), & h_B \geq h_R \\ 0, & h_B < h_R \end{cases} \quad (3.64)$$

$$k_a = \begin{cases} 54 - 0.8(h_B - h_R), & h_B < h_R \wedge d \geq 0.5 \text{ m} \\ 54 - 0.4d(h_B - h_R), & h_B < h_R \wedge d < 0.5 \text{ m} \end{cases} \quad (3.65)$$

$$k_d = \begin{cases} 18, & h_B \geq h_R \\ 18 - \frac{15(h_B - h_R)}{h_R}, & h_B < h_R \end{cases} \quad (3.66)$$

$$k_f = -4 + k_{f1} \left( \frac{f}{925} - 1 \right) \quad (3.67)$$

เมื่อ  $h_B$  คือความสูงของสายอากาศส่ง,  $d$  คือระยะทางระหว่างศูนย์กลางของเสาข้างเคียงของอาคาร และ  $k_f$  เท่ากับ 1.5 สำหรับบริเวณกลางเมือง และ 0.7 สำหรับพื้นที่อื่นๆ โมเดลนี้ใช้รูปแบบ NLOS ในกรณี LOS การสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นเหมือนใน free-space แต่มีสัมประสิทธิ์ต่างกันตามผลการวัด

$$L = 42.6 + 26 \log d + 20 \log f \quad (3.68)$$

เมื่อ  $d$  มากกว่า 0.02 กิโลเมตร

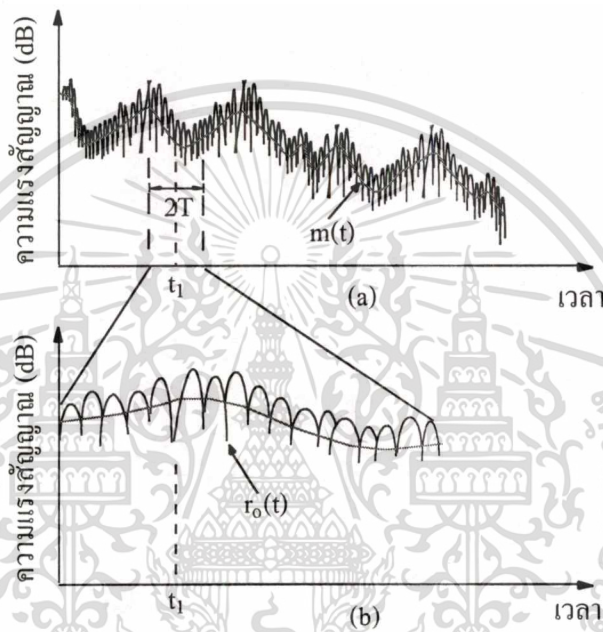
### 3.5 รูปแบบของสัญญาณรับ-ส่งระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ

ถ้า  $r(t)$  เป็นสัญญาณที่รับได้ของเครื่องรับดังแสดงในรูปที่ 3.13 เราสามารถจำลองคุณสมบัติของสัญญาณได้เป็น 2 ส่วนคือ  $m(t)$  และ  $r_o(t)$  ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเชิงฟิสิกส์อันเป็นการคูณกันของสัญญาณ 2 ชนิด จะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$r(t) = m(t) r_o(t) \quad (3.69)$$

เมื่อ  $m(t)$  เป็นค่าเฉลี่ยของการเฟดดิ้งระยะยาว (Long-term fading) หรือลือกนอร์มัลเฟดดิ้ง (Lognormal fading) และการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ ส่วน  $r_o(t)$  ที่เรียกว่า มัลติพาทเฟดดิ้ง (Multipath fading) เป็นการเฟดดิ้งระยะสั้น (Short-term fading) หรือเรย์ลีย์เฟดดิ้ง (Rayleigh fading) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการสะท้อนของคลื่นจากอาคารที่อยู่รอบๆ หรือสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างสัญญาณการเฟดดิ้งของคลื่นวิทยุ

- (a) สัญญาณการเฟดดิ้งที่เครื่องรับ
- (b) สัญญาณการเฟดดิ้งระยะสั้น

### 3.5.1 การเฟดดิ้งระยะยาว

การเฟดดิ้งของสัญญาณแบบ Long term จะเปลี่ยนแปลงตามสภาพพื้นผิวของพื้นดินระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับได้แก่ ภูเขา แม่น้ำ เป็นต้น โดยการสะท้อนจากสิ่งแวดล้อมต่างๆที่อยู่ในระยะไกลๆ จากรูปที่ 3.13(a) จะเห็นได้ว่าขณะที่มีการเฟดดิ้งที่มีลักษณะถี่มากก็จะมีเฟดดิ้งที่มีลักษณะห่างอยู่ด้วย ซึ่งเรียกว่า การเฟดดิ้งระยะยาวหรือ หรือ  $m(t)$  หาได้ดังสมการที่ (3.69)

$$m(t_1) = \frac{1}{2T} \int_{t_1-T}^{t_1+T} r(t) dt \quad (3.68)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

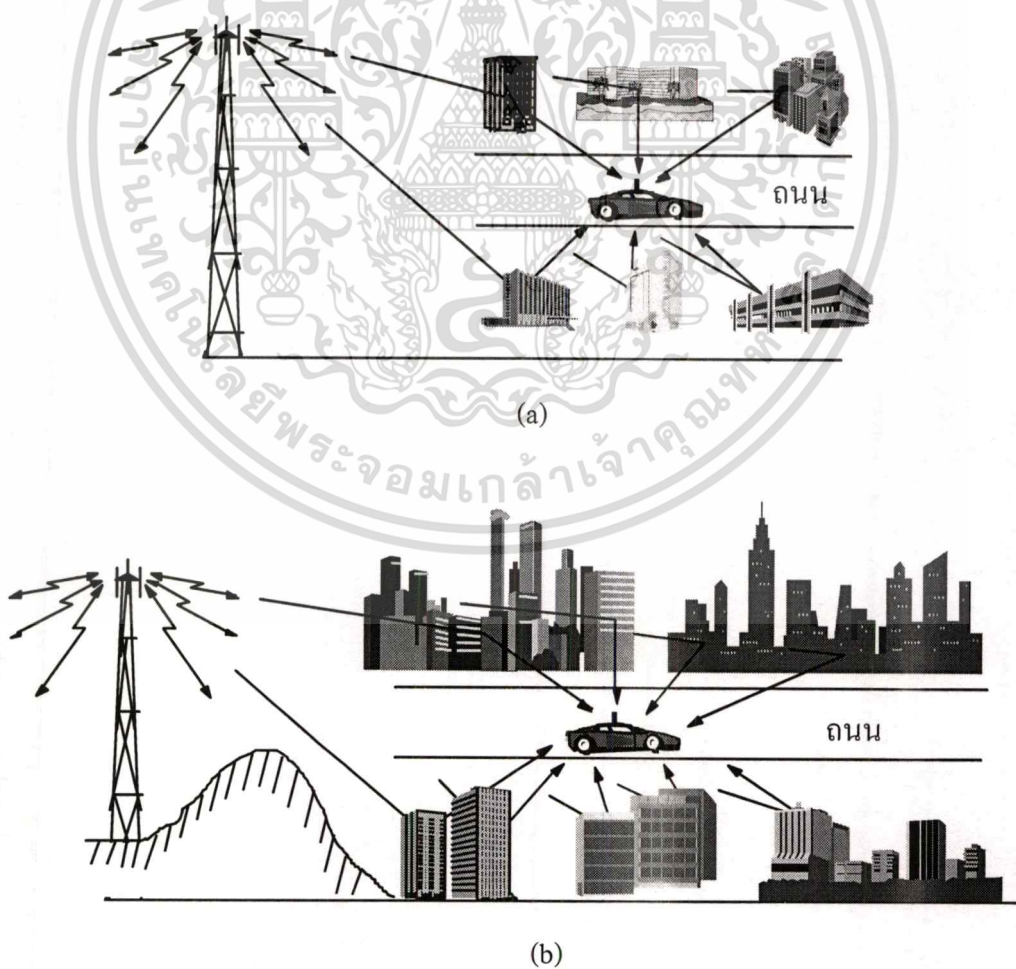
โดยที่ค่า  $2T$  คือ ช่วงเวลาสำหรับคิดค่า  $r(t)$  เฉลี่ย และค่าของ  $T$  จะแสดงอัตราการเกิดเฟดดิ้งของ  $r(t)$

### 3.5.2 การเฟดดิ้งระยะสั้น

การเฟดดิ้งของสัญญาณแบบ Short term จะเกิดเนื่องจากการสะท้อนและกระเจิงของคลื่นเมื่อคลื่นกระทบสิ่งก่อสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้นหรือสิ่งกีดขวางที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ หรือเรียกว่า มัลติพาทเฟดดิ้ง ค่า  $r_o(t)$  หาได้ดังสมการที่ (3.69)

$$r_o(\text{หน่วยเป็นdB}) = r(t) - m(t) \quad (3.69)$$

จากรูปที่ 4.2(b) การเฟดดิ้งระยะสั้นเป็นไปตามการกระจายแบบเรย์ลีย์ (Rayleigh Distribution) มีเพียงคลื่นสะท้อนจากสิ่งต่างๆที่อยู่รอบบริเวณนั้น



รูปที่ 3.14 มัลติพาทเฟดดิ้ง (a) สิ่งก่อสร้างแบบกระจัดกระจาย (b) สิ่งก่อสร้างแบบหนาแน่น

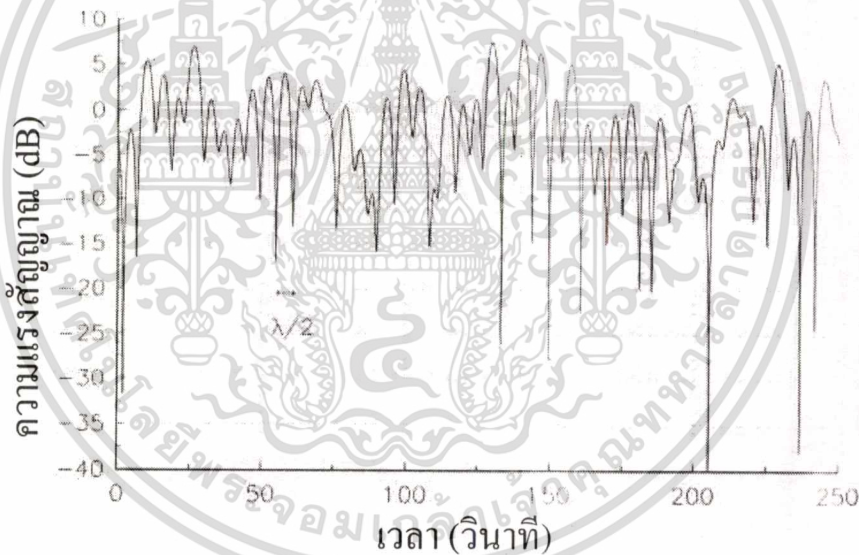
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยระบบบริหารการคมนาคม  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3 การกระจายแบบเรย์ลีย์และแบบรีเซียน (Rayleigh and Ricean Distribution)

การเฟดดิ้งแบบเรย์ลีย์ หรือ มัลติพาธเฟดดิ้งในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ สัญญาณคลื่นวิทยุที่รับได้ประกอบด้วยคลื่นทางตรง และคลื่นที่สะท้อนจากสิ่งก่อสร้าง ทำให้เกิดคลื่นในหลายเส้นทางดังแสดงในรูปที่ 3.14 คลื่นเหล่านี้จะรวมกันทำให้รูปแบบสัญญาณที่ไม่แน่นอนที่เครื่องรับ การเฟดดิ้งที่เกิดขึ้นคือมัลติพาธเฟดดิ้ง จะเกิดมากขึ้นสภาพสิ่งก่อสร้างเป็นแบบหนาแน่นเพราะจะมีจำนวนพาธของคลื่นมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.14(b)

#### 3.5.3.1 การกระจายแบบเรย์ลีย์

การกระจายแบบเรย์ลีย์ เป็นการอธิบายในเชิงสถิติ ของสัญญาณมัลติพาธเฟดดิ้ง จะทำให้ทราบถึงค่าสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian noise) โดยการกระจายแบบเรย์ลีย์จะแสดงดังรูปที่ 3.15 ซึ่งแสดงการกระจายแบบเรย์ลีย์ของสัญญาณฟังก์ชันเวลา โดยที่การกระจายแบบเรย์ลีย์มีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (PDF : Probability Density Function) ดังสมการที่ (3.70)

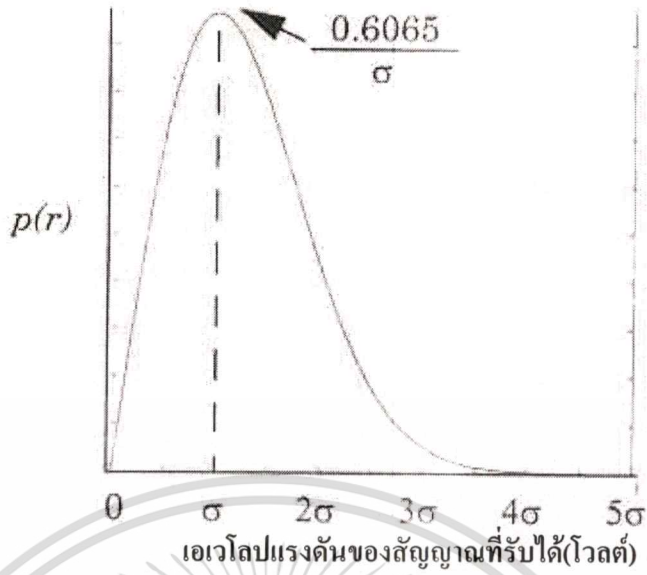


รูปที่ 3.15 เอนVELOปของสัญญาณที่เฟดดิ้งแบบเรย์ลีย์ที่ความถี่ 900 MHz

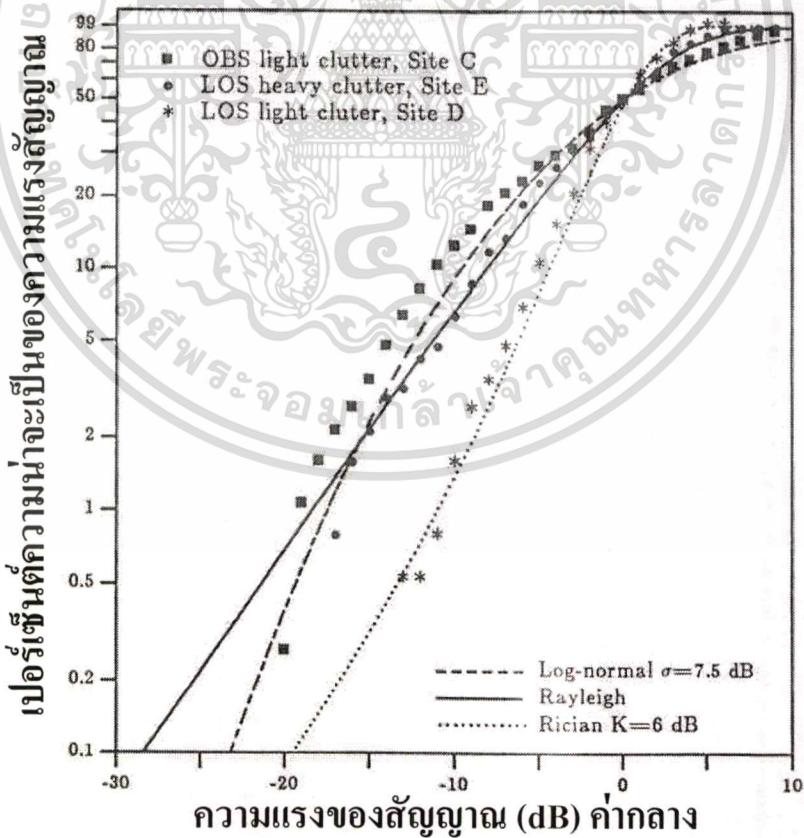
$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (3.70)$$

โดยที่  $r$  คือค่าเฉลี่ย RMS (Root Mean Square) ของแรงดันของสัญญาณที่รับได้ และ  $\sigma^2$  คือกำลังเฉลี่ยของสัญญาณที่รับได้ ความน่าจะเป็นของสัญญาณที่รับได้จะไม่มากกว่าค่าของ  $r$  นั้นจะสอดคล้องกับฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (CDF: Commulative Distribution Function) จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของความหนาแน่น (CDF) ของการกระจายแบบเรย์ลีย์



รูปที่ 3.17 การกระจายของเฟดดิ้งทั้ง 3 พื้นที่ ที่ได้จากการวัด รวมทั้งการกระจายแบบเรย์ลีย์ รีเซียน

และล็อกนอร์มอล เอกสารนี้จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p(R) = p_r(r \leq R) = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3.71)$$

ค่าเฉลี่ย  $r_{mean}$  ของการกระจายแบบเรย์ลีย์หาได้จาก

$$r_{mean} = E[r] = \int_0^{\infty} r p(r) dr = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1.2533\sigma \quad (3.72)$$

และค่าความแปรปรวนของการกระจายแบบเรย์ลีย์  $\sigma_r^2$  โดยสามารถหาได้จาก

$$\sigma_r^2 = E[r^2] - E^2[r] = \int_0^{\infty} r^2 p(r) dr - \frac{\sigma^2}{2} = \sigma^2 \left(2 - \frac{\pi}{2}\right) = 0.4292\sigma^2 \quad (3.73)$$

ค่า RMS ของสัญญาณคือค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ย หรือ  $\sqrt{2}\sigma$  ดังนั้นเราจะได้ค่ามัธยฐานของ  $r$

$$\frac{1}{2} = \int_0^{r_{median}} p(r) dr \quad (3.74)$$

$$r_{median} = 1.177\sigma \quad (3.75)$$

ดังนั้นค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของสัญญาณเรย์ลีย์เฟดดิ้งจะมีค่าต่างกันเพียง 0.55 dB บ่อยครั้งที่ในทางปฏิบัติเราต้องใช้ค่ามัธยฐาน เพราะปกติแล้วข้อมูลเฟดดิ้งที่วัดได้จะมาจากภาคสนามจะไม่สามารถกำหนดค่าที่แน่นอนได้ จะใช้ค่ามัธยฐานแทนค่าเฉลี่ยเพราะง่ายที่เปรียบเทียบการกระจายของเฟดดิ้งที่แตกต่าง ซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยนั้นกว้างมาก รูปที่ 3.16 แสดงค่า PDF ของการกระจายแบบเรย์ลีย์ และจะได้ค่า CDF ดังในรูปที่ 3.17

### 3.5.3.2 การกระจายแบบรีเซียนเฟดดิ้ง

เมื่อสัญญาณที่รับได้ประกอบด้วยส่วนของสัญญาณในทิศทางหลักที่มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงคล้ายกับสัญญาณในเส้นทางแนวสายตา เฟดดิ้งที่ได้จะมีการกระจายแบบรีเซียน สัญญาณมัลติพาทที่มาถึงแต่ละสัญญาณจะมีทิศทางที่ต่างกันมารวมกับสัญญาณที่มาในทิศทางหลักสัญญาณทางด้านรับจะมีผลจากการรวมกันโดยตรงของมัลติพาทแรนดอม ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับรูปคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุณหภูมิ (Thermal noise) ผลกระทบของสัญญาณหลักที่มาถึงกับสัญญาณมัลติพาทจำนวนมากที่ระดับสัญญาณต่ำกว่า ทำให้เกิดการกระจายแบบรีเซียนสูงขึ้น ถ้าสัญญาณหลักต่ำลงทำให้ระดับใกล้เคียงรับสัญญาณรบกวน ก็จะทำให้การกระจายบางส่วนเหมือน

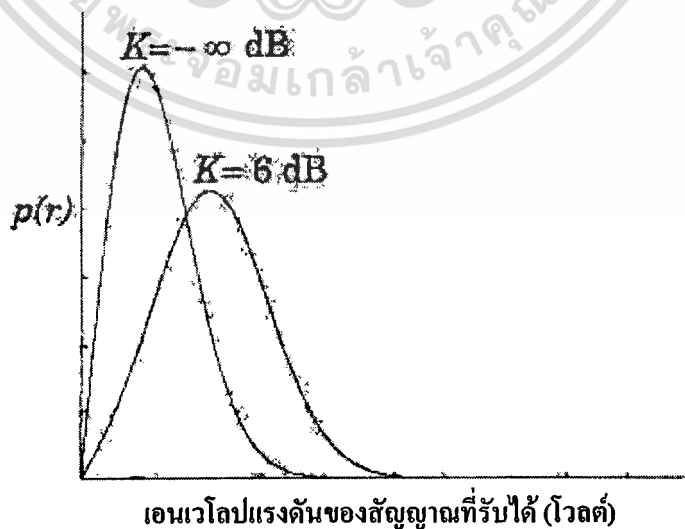
กับการกระจายแบบเรย์ลีย์ ดังนั้นการกระจายแบบเรย์ลีย์เกิดจากการกระจายแบบรีเซียนถ้าสัญญาณในเส้นทางหลักมีค่าต่ำมากๆ การกระจายแบบรีเซียนหาได้ดังสมการที่ (3.76)

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} e^{-\frac{r^2+A^2}{2\sigma^2}} I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right) & (A \geq 0, r \geq 0) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (3.76)$$

โดยที่  $A$  คือค่าสูงสุดของสัญญาณที่มาจากเส้นทางหลัก และ  $I_0()$  คือฟังก์ชันเบสเซล (Bessel function) แบบตัดแปลงชนิดที่ 1 อันดับที่ 0 การกระจายแบบรีเซียนมีบ่อยครั้งที่อธิบายโดยใช้พารามิเตอร์  $K$  หาได้จากสัดส่วนระหว่างกำลังสัญญาณที่วัดได้ต่อค่าความแปรปรวนของการเกิดมัลติพาทหาได้จาก  $K = A^2 / (2\sigma^2)$  ในเทอมของ dB จะได้ว่า

$$K(\text{dB}) = 10 \log \frac{A^2}{2\sigma^2} \quad (3.77)$$

โดยที่พารามิเตอร์  $K$  คือ รีเซียนแฟกเตอร์ (Ricean factor) ถ้าการกระจายแบบรีเซียนเป็นไปอย่างสมบรูณ์ เมื่อ  $A \rightarrow 0$  แล้ว  $K \rightarrow -\infty$  และถ้าสัญญาณจากเส้นทางหลักมีแอมพลิจูด การกระจายแบบรีเซียน ก็จะกลายเป็นการกระจายแบบเรย์ลีย์ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการกระจายแบบรีเซียนโดยที่  $K = -\infty$

เอกสาร (เรย์ลีย์) และ  $K = 6 \text{ dB}$  สำหรับ  $K \geq 1$  ค่า PDF จะใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยเกาส์เซียน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

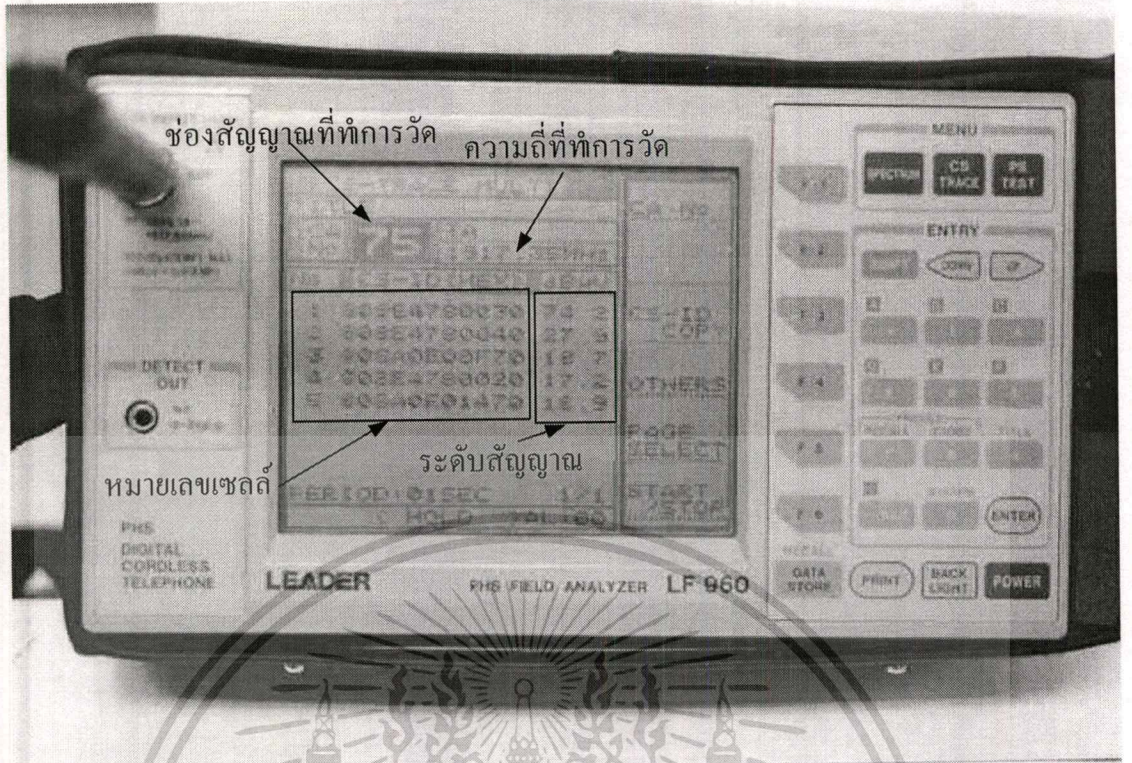
# การออกแบบเพื่อวางตำแหน่งเซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

### 4.1 บทนำ

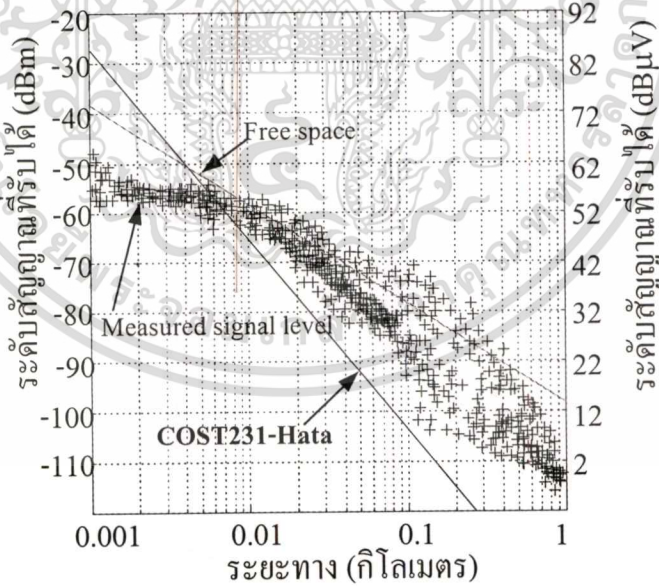
สำหรับการบริการโหมดสาธารณะของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที จะต้องทำการติดตั้งสถานีเซลล์ตามถนนในพื้นที่บริการ การวางตำแหน่งเซลล์ที่เหมาะสมจะทำให้ระบบมีคุณภาพการให้บริการที่ดี ระยะห่างระหว่างการวางเซลล์จะส่งผลต่อการบริการและการลงทุนของผู้ให้บริการ ถ้าวางห่างกันมากจะทำให้เกิดบริเวณที่สัญญาณต่ำกว่าข้อกำหนดการใช้งานจะไม่สามารถใช้งานโทรศัพท์พีซีทีได้ที่เรียกว่าจุดบอด ถ้าวางใกล้กันมากจะเกิดการรบกวนจากช่องสัญญาณที่ใช้ความถี่เดียวกันของเซลล์ข้างเคียง (Co-channel Interference) มากขึ้น ทำให้อัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Interference Ratio) ต่ำลง ทำให้ระดับสัญญาณต่ำกว่าข้อกำหนดการใช้งาน รวมทั้งต้องใช้เซลล์จำนวนมากทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเพิ่มขึ้น ดังนั้นการหาตำแหน่งที่เหมาะสมระหว่างเซลล์จะเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยทั่วไปจะใช้วิธีการนำเซลล์ไปติดตั้งแล้วทำการวัดทดสอบแต่ละเซลล์ซึ่งต้องใช้เวลารวมทั้งเครื่องมือทดสอบมีจำนวนจำกัดและต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูง วิธีการคำนวณเพื่อหาระยะห่างในการติดตั้งจึงเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก ซึ่งมีผู้นำเสนอไว้หลายๆ โมเดลดังแสดงในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่า Empirical model เป็นโมเดลที่สะดวกต่อการใช้งานโดยสร้างจากผลของสัญญาณที่ได้จากการวัดในสภาพแวดล้อมต่างๆ 3 พื้นที่การใช้งานดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 โดยโมเดลการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณที่นำเสนอเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้จากผลการวัดเก็บข้อมูลในพื้นที่ต่างๆ จากนั้นนำมาสร้างโมเดลเพื่อให้เกิดความสะดวกและง่ายต่อผู้ปฏิบัติงานและประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

### 4.2 การหาตำแหน่งเพื่อวางเซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคลพีซีที

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการติดตั้งสถานีเซลล์ในพื้นที่ทั้ง 3 พื้นที่ได้แก่ พื้นที่เมือง พื้นที่ชานเมือง และพื้นที่ชนบท เพื่อให้บริการในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยติดตั้งเซลล์ทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังนี้คือ สถานีเซลล์มีกำลังส่ง 200 mW (-6.98 dB) ใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 7 dBi จะได้  $P_r$  มีค่าประมาณ 0 dBW EIRP ติดตั้งที่ความสูง  $h_{cs}$  เท่ากับ 4.5 เมตร จากนั้นทำการวัดรวบรวมผลด้วยเครื่อง LEADER PHS Field Analyzer LF 960 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ทำการทดสอบที่ช่องสัญญาณที่ 75 ซึ่งเป็นช่องสัญญาณควบคุมที่ใช้ในการข้ามเซลล์ ของบริษัทเทเลคอม-เอ็กซานนี่เอเซีย คอปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ที่ความถี่ 1917.35 MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่สูงที่สุดที่ใช้งาน ซึ่งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

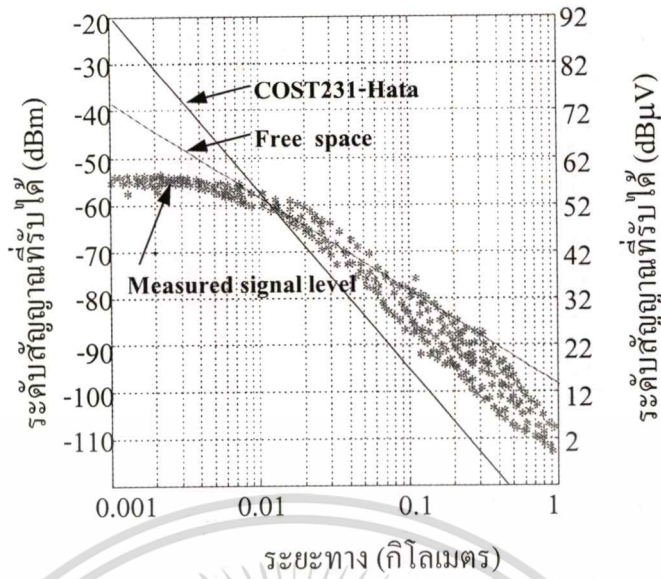


รูปที่ 4.1 เครื่องมือวัดค่าระดับสัญญาณที่ใช้ในการวัด

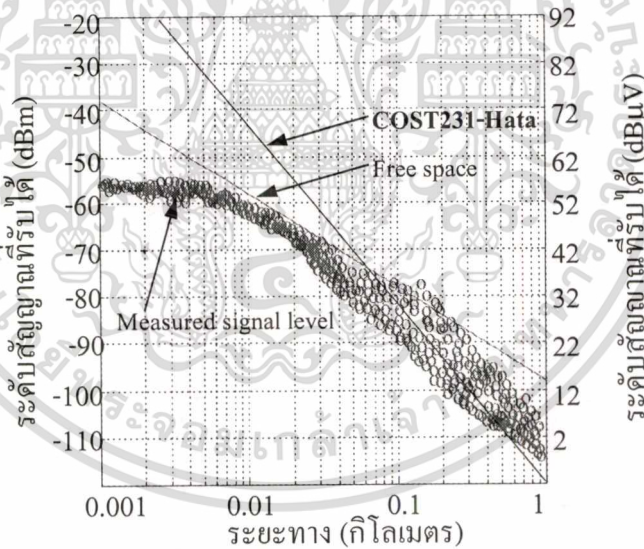


รูปที่ 4.2 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นที่เมือง (ถนนสีลม) กับการคำนวณโดยโมเดล COST 231-Hata และ โมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free space

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นที่ชานเมือง (ถนนรัชดาภิเษก) กับการคำนวณโดยโมเดล COST 231-Hata และ โมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free space



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัดบริเวณพื้นที่ชานบท (ถนนบางนา-ตราด) กับการคำนวณโดยโมเดล COST 231-Hata และ โมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free space

จะมีการลดทอนเนื่องจากความถี่สูงที่สุด และให้ความสูงในการวัดรับสัญญาณ  $h_{ps}$  เท่ากับ 1.5 เมตร ทั้ง 3 พื้นที่ คือพื้นที่เมืองบริเวณถนนสีลม พื้นที่ชานเมืองบริเวณถนนรัชดาภิเษก พื้นที่ชานบทบริเวณถนนบางนา-ตราด พื้นที่ละ 20 เซลล์แต่ละเซลล์ทำการวัดที่ตำแหน่งเดียวกัน 10 ครั้ง นำค่าที่

ได้จากการวัดซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยแต่ละครั้งมาพล็อตกราฟได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.2-4.4 จากรูปที่ 4.2 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 4.3 เมื่อนำค่าการคำนวณด้วยโมเดล COST 231-Hata ที่นิยมใช้ในการออกแบบวางเซลล์ สำหรับระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจะมีความแตกต่างกันมาก โดยค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโมเดล COST 231-Hata จะมีค่าระดับสัญญาณที่วัดได้จะมีความชันของกราฟมากกว่าถ้านำไปออกแบบจะได้ระยะทางที่สั้นกว่าความเป็นจริง ส่วนโมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free Space จะมีค่าใกล้เคียงที่ ระยะ 10 ถึง 100 เมตร ส่วนระยะที่มากกว่า 100 เมตร ค่าที่ได้จากการวัดจะมีค่าต่ำกว่าแสดงว่าที่ระยะมากกว่า 100 เมตรมีการลดทอนมากกว่าการลดทอนใน Free space ถ้านำไปออกแบบจะได้ระยะทางที่มากกว่าความเป็นจริง ส่วนในรูปที่ 4.4 เมื่อนำค่าการคำนวณด้วยโมเดล COST 231-Hata มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจะมีค่าใกล้เคียงที่ ระยะ 100 ถึง 200 เมตร ส่วนระยะต่ำกว่า 100 เมตรและระยะที่มากกว่า 200 เมตร จะมีค่าระดับสัญญาณการลดทอนมีความชันของกราฟมากกว่าถ้านำไปออกแบบจะได้ระยะทางที่สั้นกว่าความเป็นจริง โดยการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์จะอยู่ในช่วง 300-600 เมตร ดังนั้นทั้งโมเดล COST 231-Hata และ โมเดลการแพร่กระจายคลื่นใน Free space จึงไม่เหมาะสมนำมาใช้งานในการหาตำแหน่งในการติดตั้งสถานีเซลล์ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุบุคคลพีซีทีได้ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอโมเดลการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นในย่านความถี่ 1900 MHz ของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุบุคคลพีซีที เพื่อนำมาใช้ในการหาตำแหน่งในการติดตั้งเซลล์ โดยสร้างโมเดลจากผลการวัดทดสอบซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 4.2.1 สมการการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ

การหาค่าระดับสัญญาณที่ได้จากการแพร่กระจายคลื่น เมื่อพิจารณาค่ากำลังงานประสิทธิผลของการแพร่กระจายคลื่น (ERP:Effective Radiated Power) ซึ่งเท่ากับกำลังงานของเครื่องส่งคูณกับอัตราขยายของสายอากาศ กำลังงานประสิทธิผลในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไอโซโทรปิก (EIRP : Effective Isotropic Radiated Power) เมื่อมีกำลังส่งเป็น  $P_T$  มีหน่วยเป็น (dBW:EIRP) มีความแรงของสัญญาณที่รับได้เป็น  $E$  มีหน่วยเป็น (dB $\mu$ V / m) และมีการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นระหว่างสายอากาศเครื่องส่งและรับเป็น  $L$  มีหน่วยเป็น (dB) ถ้า  $A_{eff}$  คือพื้นที่ในการรับสัญญาณ (absorption cross - section) ของสายอากาศไอโซโทรปิก,  $P_u$  เป็นความหนาแน่นของกำลังงานที่รับได้ กำลังงานที่รับได้เป็น  $P_r$  หาได้ผลคูณของความหนาแน่นของกำลังงานที่รับได้กับพื้นที่ในการรับสัญญาณดังสมการที่ (4.1)

$$P_r(W) = P_u(W/m^2) * A_{eff}(m^2) \quad (4.1)$$

$$P_r(dBm) = P_u(dBm/m^2) * A_{eff}(m^2) \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$10 \log_{10} P_r = 10 \log_{10} P_u + 10 \log_{10} (A_{eff}) \quad (4.3)$$

$$P_r (dBm) = P_u (dBm/m^2) + 10 \log_{10} (A_{eff}) \quad (4.4)$$

เมื่อ  $A_{eff} = \lambda^2 / 4\pi$ ,  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่น

จาก [17],[21] ความหนาแน่นของกำลังงานที่รับได้จะหาได้จากความแรงของสัญญาณที่รับได้หารด้วยอิมพีแดนซ์เสมือนของอากาศจะเขียนสมการที่ (4.4) ได้ตั้งสมการที่ (4.5)

$$\begin{aligned} P_r &= P_u + 10 \log A_{eff} \\ &= E (dB\mu V/m) - 10 \log_{10} (120\pi) - 90 + 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) \end{aligned} \quad (4.5)$$

เมื่อการการลดทอนตามระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นเป็นความแตกต่างระหว่างกำลังการแพร่กระจายคลื่นที่ใช้สายอากาศไอโซโทรปิกกับกำลังที่รับได้ จากสมการที่ (3.28) แทนด้วยสมการที่ (4.5) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} L (dB) &= P_t (dB) - P_r (dBm) \\ &= P_T (dBW : EIRP) - E (dB\mu V/m) - 10 \log_{10} \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) + 145.8 \end{aligned} \quad (4.6)$$

จาก [17],[21]  $P_T (dBW : EIRP) = P_t G_t = P_t (dB) + G_t (dBi)$

และ  $EIRP = ERP + 2.2 (dB)$  (4.7)

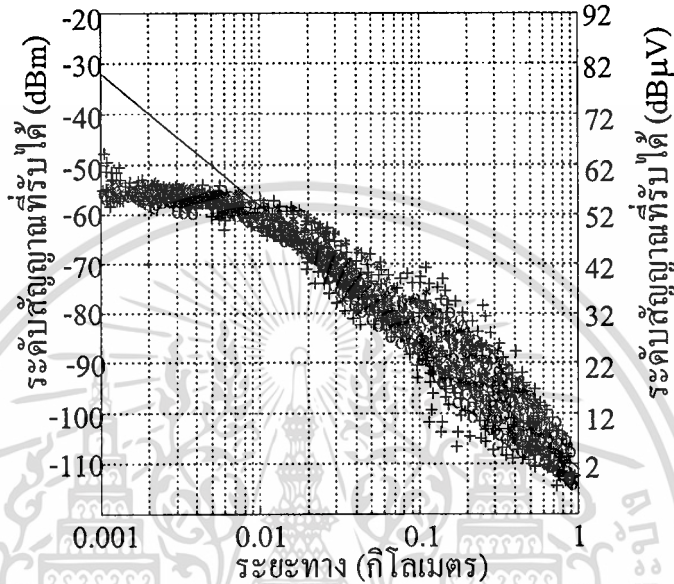
การศึกษาทดสอบโดยใช้สถานีเซลล์มีกำลังส่ง 200 mW (-6.98 dB) สายอากาศมีอัตราขยาย 7 dBi จะได้ว่า  $P_T$  จากการคำนวณตามสมการที่ (4.7) ประมาณ  $0 dBW : EIRP$  จากสมการที่ (4.6) จะได้ว่า

$$L (dB) = 145.8 - 10 \log_{10} \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - E (dB\mu V/m) \quad (4.8)$$

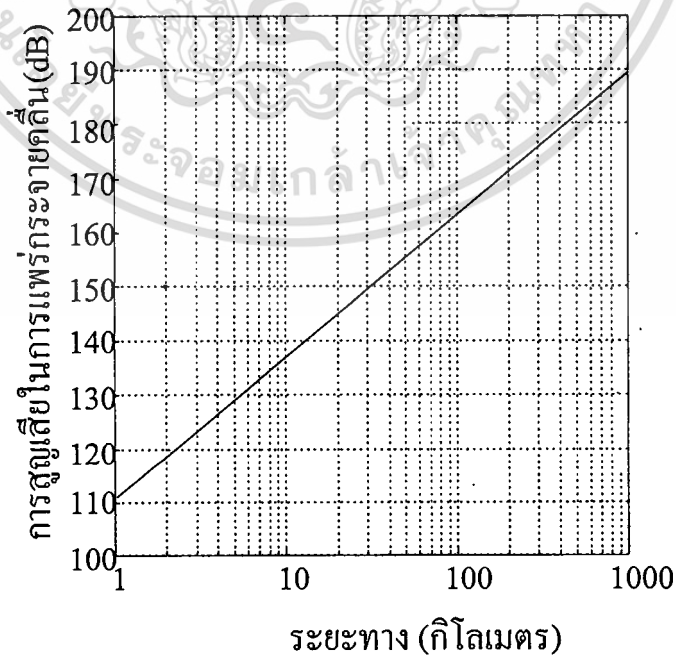
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความแรงของสัญญาณ  $E(dB\mu V/m)$  ดังแสดงในรูปที่ 4.5 จากเส้นกราฟที่ทำกรลากที่ค่าเฉลี่ยของผลการวัดสามารถกำหนดได้จากสมการของระยะทางหน่วยเป็นกิโลเมตร หรือ  $d$  (km) ได้ดังนี้

$$E(dB\mu V/m) = \gamma + \beta \log_{10} d(km) \quad (4.9)$$



รูปที่ 4.5 ผลที่ได้จากการวัดใน 3 พื้นที่กับเส้นกราฟที่ลากที่ค่าเฉลี่ยของผลการวัด



รูปที่ 4.6 ค่าการลดทอนจากระยะทางที่ได้จากรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ในอินเทอร์เน็ตเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\gamma$  และ  $\beta$  เป็นค่าคงที่ที่หาค่าได้ เมื่อ  $P_T = 0 \text{ dBW} \cdot \text{EIRP}$  จากสมการที่ (4.6) จะได้ว่า  $L = -P_r$  ที่ระยะ 1 กิโลเมตรจะได้  $L = 111 \text{ (dB)}$  และความชันของกราฟจากรูปที่ 4.5 มาวาดกราฟของ  $L$  ได้ดังแสดงรูปที่ 4.6 จากรูปที่ 4.6 สามารถเขียนสมการของ  $L$  ได้ดังนี้

$$L = A + B \log_{10} d(\text{km}) \quad (4.10)$$

เมื่อ  $A$  เป็นค่าการลดทอนที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร และ  $B$  ค่าความชันของเส้นกราฟ แทนสมการที่ (4.9) ลงในสมการที่ (4.8) และนำสมการ (4.8) มาเปรียบเทียบกับสมการ (4.10) จะค่าของ  $A$  และ  $B$  ดังสมการ (4.11) และสมการ (4.12)

$$A = 145.8 - 10 \log_{10} \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - \gamma \quad (4.11)$$

$$B = -\beta \quad (4.12)$$

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงในการติดตั้งเซลล์จะไม่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่น จากสมการ (4.9) และสมการ (4.10) ค่า  $A$  สามารถได้จากค่าความแรงของสัญญาณ  $E$  ที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร เพราะที่ 1 กิโลเมตรจาก (4.9) เทอม  $\beta \log_{10} d(\text{km})$  จะมีค่าเป็น 0 จากรูปที่ 4.5 ค่า  $E$  ประมาณ  $1 \text{ dB}\mu\text{V}$  แทนค่าลงในสมการ (4.11) จะได้ค่า  $A = 111 \text{ dB}$  ดังแสดงในรูปที่ 4.6

เนื่องจากระบบโทรศัพท์พหุคูณคลื่นวิทยุที่ใช้งานบนถนนซึ่งไม่มีสิ่งกีดขวางการลดทอนจากระยะทางในแพร่กระจายคลื่นเนื่องจากความถี่จากสมการการลดทอนใน Free space จะเท่ากับ  $20 \log_{10} f_c$  จะได้  $A$  ดังแสดงในสมการ (4.13)

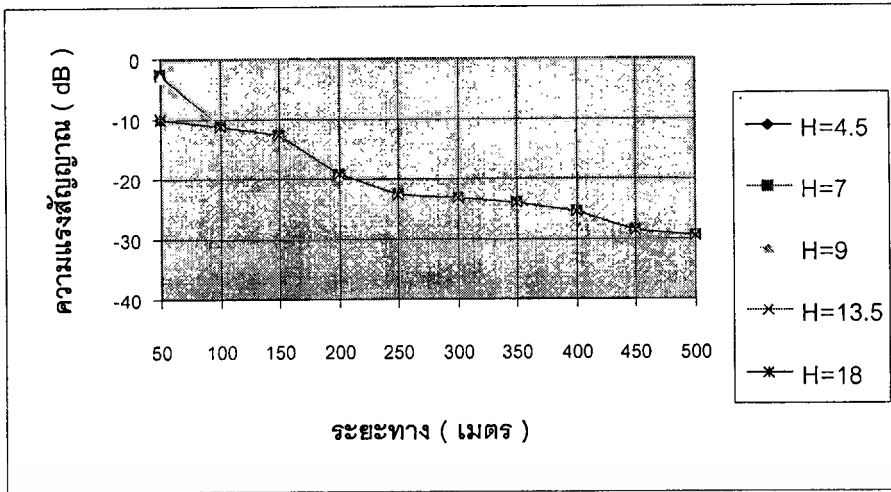
$$A = 111 = 45.35 + 20 \log_{10} f_c \quad (4.13)$$

ค่า  $B$  ได้จากความชันของกราฟจากรูป 4.6 มีจะได้  $B$  ดังสมการ (4.14)

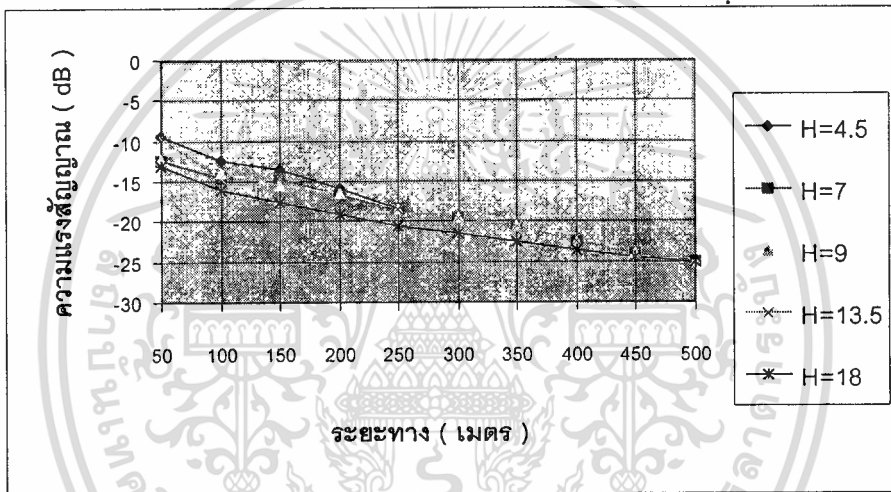
$$B = 26 \text{ (dB / km)} \quad (4.14)$$

จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของการลดทอนที่เกิดจากความสูงของการติดตั้งเซลล์ ทำการทดสอบโดยใช้สถานีเซลล์มีกำลังส่ง 200 มิลลิวัตต์ (-6.98 dB) สายอากาศมีอัตราขยาย 4 dBi, 7dBi

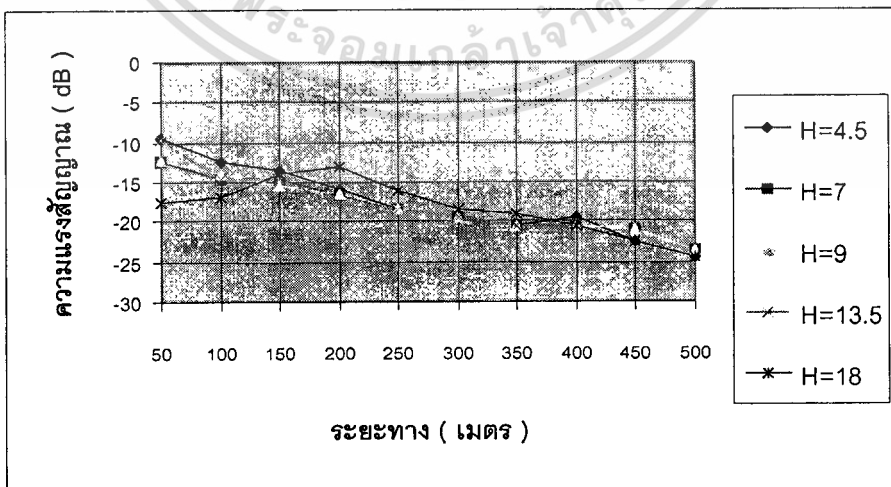
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลการวัดทดสอบเซลล์ในพื้นที่ต่างๆเมื่อเซลล์ใช้สายอากาศอัตราขยาย 4 dBi



รูปที่ 4.8 ผลการวัดทดสอบเซลล์ในพื้นที่ต่างๆเมื่อเซลล์ใช้สายอากาศอัตราขยาย 7 dBi



รูปที่ 4.9 ผลการวัดทดสอบเซลล์ในพื้นที่ต่างๆเมื่อเซลล์ใช้สายอากาศอัตราขยาย 9 dBi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 9dBi ที่ความสูง 4.5 เมตร 7 เมตร 9 เมตร 13.5 เมตร และ 18 เมตร ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.7-4.9 จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าความสูงในการติดตั้งไม่มีผลต่อการลดทอน จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงในการติดตั้งสถานีเซลล์ จะเห็นได้ว่าเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น สัญญาณที่รับได้จะมีค่าลดลงแสดงว่ามีการลดทอนมากขึ้น โดยเมื่อความสูงของเพิ่มจาก 4.5 เมตร จนถึง 18 เมตร จะมีการลดทอนเพิ่มขึ้น 6 dB จึงสามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$a(h_{cs}) = 10 \log h_{cs} - 6.54 \quad (4.15)$$

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงในการติดตั้งสถานีเซลล์ จะเห็นได้ว่าเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น สัญญาณที่รับได้จะมีค่าลดลงแสดงว่ามีการลดทอนมากขึ้น โดยเมื่อความสูงของเพิ่มจาก 4.5 เมตร จนถึง 18 เมตร จะมีการลดทอนเพิ่มขึ้น 12 dB จึงสามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$a(h_{cs}) = 2(10 \log h_{cs} - 6.54) \quad (4.16)$$

แทนสมการที่ (4.13) สมการที่ (4.14) ลงในสมการที่ (4.10) จะได้สมการของการลดทอนตามระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นสำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุคณพีซีที จะได้สมการดังแสดงในสมการ (4.17)

$$L = 45.35 + 20 \log_{10} f_c (\text{MHz}) + 26 \log_{10} d (\text{km}) + a(h_{cs}) \quad (4.17)$$

เมื่อ  $f_c$  คือ ความถี่ใช้งาน (1917.35 MHz)

$d$  คือ ระยะทางระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่งในช่วง 100 เมตร ถึง 1 กิโลเมตร

$a(h_{cs})$  คือ เฟดเดอร์แก้ไขเมื่อความสูงของสถานีเซลล์เปลี่ยนแปลง

สายอากาศมีอัตราขยาย 4 dBi ค่า  $a(h_{cs}) = 0$

สายอากาศมีอัตราขยาย 7 dBi ค่า  $a(h_{cs}) = 10 \log h_{cs} - 6.54$  (dB)

สายอากาศมีอัตราขยาย 9 dBi ค่า  $a(h_{cs}) = 2(10 \log h_{cs} - 6.54)$  (dB)

ภายใต้เงื่อนไขความสูงของเซลล์หรือสายอากาศส่งอยู่ในช่วง 4.5 ถึง 18 เมตร ความสูงของสายอากาศรับ 1.5 เมตร

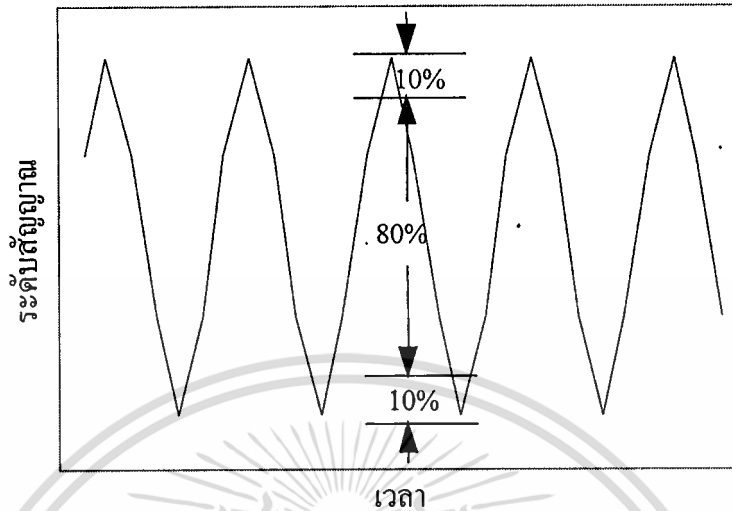
#### 4.2.2 การเฟดดิ้งของสัญญาณในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุพหุคณพีซีที

การเฟดดิ้งของสัญญาณ จะทำให้ระดับสัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงไปมา การหาค่าการ

เฟดดิ้งของสัญญาณสามารถหาได้จากรูปคลื่นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา การหาค่ามัลติพาทเฟดดิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อผู้ใดเห็นใบเซปจะยื่นคำร้องขอ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Multipath fading) จะต้องตัดค่าระดับสัญญาณสูงสุดและต่ำสุดออกข้างละ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยจะคิดเพียง 80 เปอร์เซ็นต์ของสัญญาณสูงสุดลบด้วยต่ำสุด[38], [41] ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 การหาค่ามัลติพาทเฟดดิ้ง

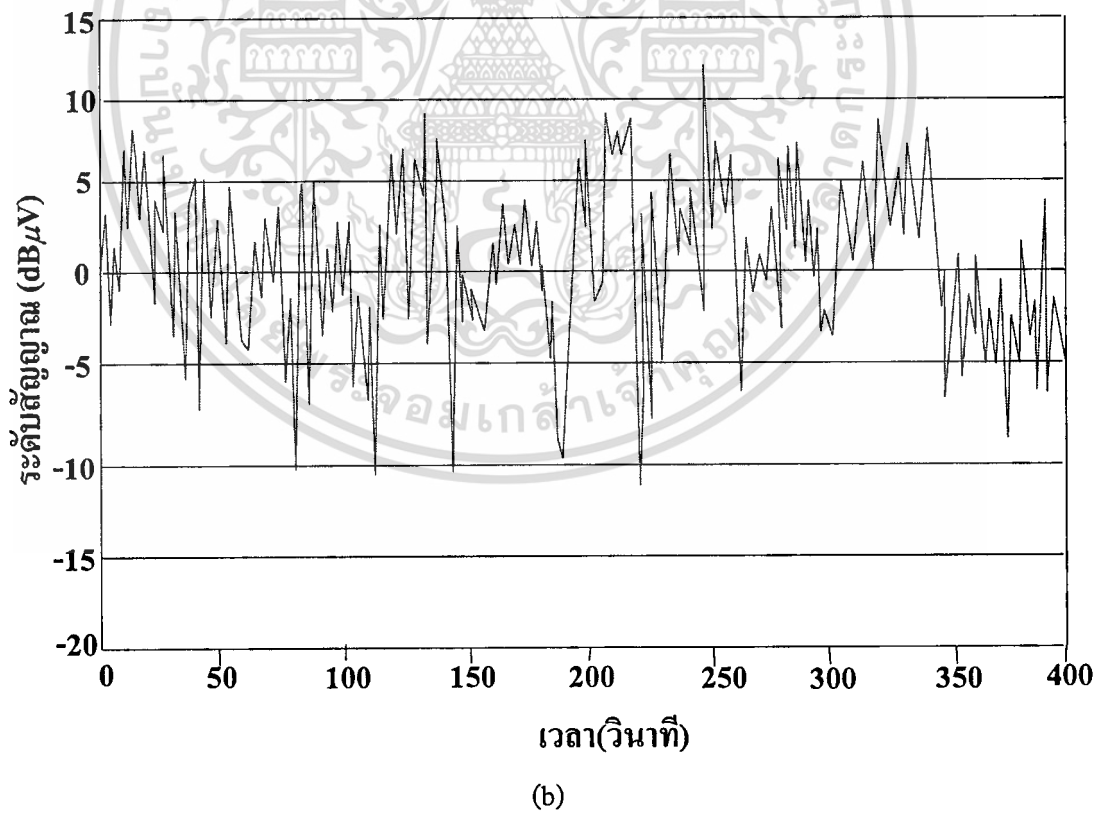
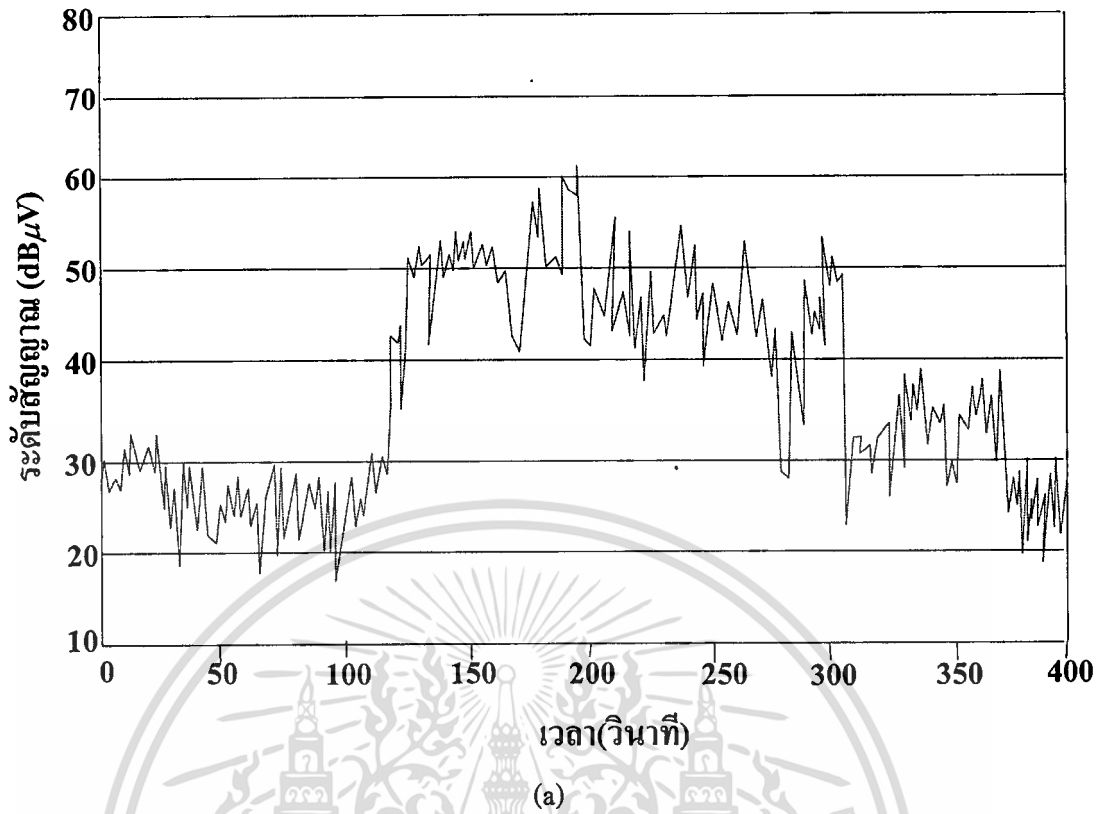
การทดสอบโดยการใช้เครื่อง LEADER PHS Field Analyzer LF 960 ในเขตพื้นที่เมืองบริเวณถนนสีลม มีการเฟดดิ้งอยู่ระหว่าง 12.43-23.45 dB เขตพื้นที่ชานเมืองบริเวณถนนรัชดา มีค่าการเฟดดิ้งอยู่ระหว่าง 9.45-20.96 dB และเขตพื้นที่ชนบทบริเวณถนนบางนา-ตราด มีค่าการเฟดดิ้งอยู่ระหว่าง 4.32-12.53 dB

#### 4.2.2.1 การวิเคราะห์การเฟดดิ้งในเชิงสถิติ

การคำนวณเชิงสถิติจะมีพารามิเตอร์หลายตัวด้วยกันที่น่าเชื่อถือ และวิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยม คือการหาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (PDF : Probability Density Function) และฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (CDF : Commulative Distribution Function) ในการทดสอบค่าระดับสัญญาณที่บันทึกได้ระหว่างการวัดนั้น เป็นค่าระดับสัญญาณที่รับได้จากเครื่องวัดแสดงในหน่วยเดซิเบลที่สัมพันธ์กับ 1 ไมโครโวลต์ ( $\text{dB}\mu\text{V}$ ) โดยข้อมูลที่ได้อาจจะเปลี่ยนให้เป็นเชิงเส้นเสียก่อน โดยเปลี่ยนหน่วยจาก  $\text{dB}\mu\text{V}$  ให้เป็น  $\mu\text{V}$  ดังสมการที่ (4.18)

$$\text{ระดับสัญญาณ}(\mu\text{V}) = 10^{(\text{ระดับสัญญาณ}(\text{dB}\mu\text{V})/20)} \quad (4.18)$$

ข้อมูลที่ได้อาจทำการวัดในพื้นที่ต่างๆ ทั้ง 3 พื้นที่ จากนั้นนำข้อมูลมาทำการลดค่าลงโดยการทำลดค่า (normalize) ด้วยค่ามัธยฐาน (median)[39] เพื่อตัดการลดทอนเนื่องจากระยะทางออกซึ่งจะทำให้ได้ระดับสัญญาณที่มีเฉพาะการเฟดดิ้งระยะสั้นเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 4.11



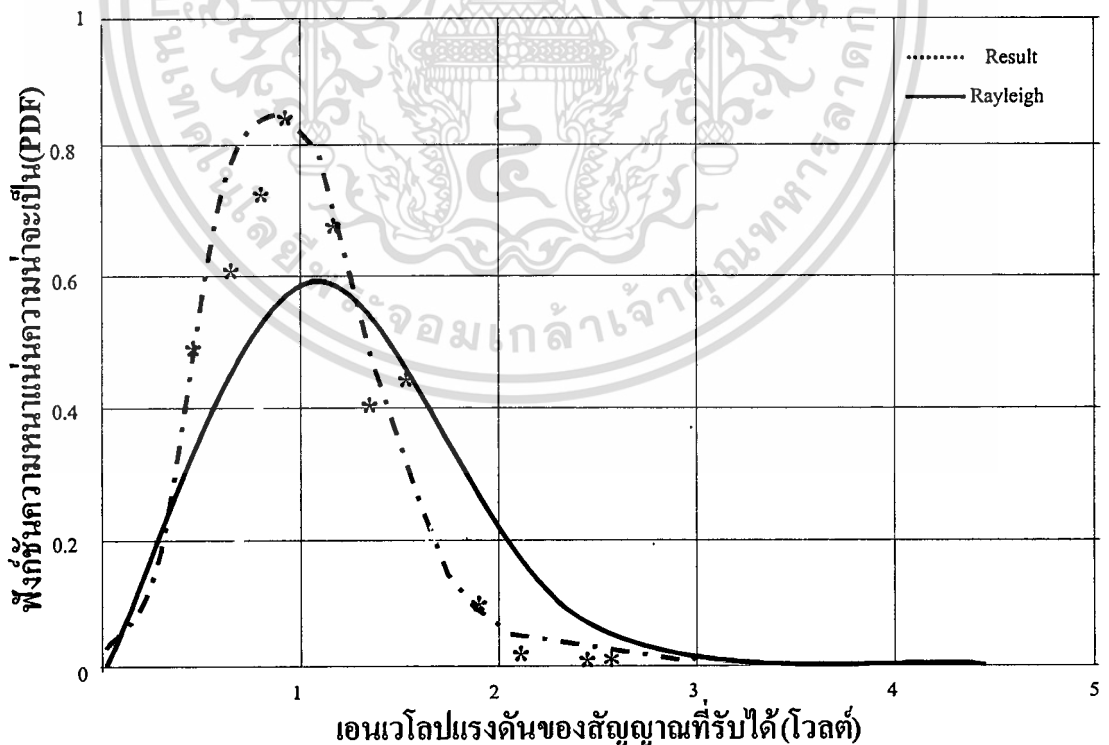
รูปที่ 4.11 (a) สัญญาณที่วัดได้

(b) สัญญาณที่ทำการลดค่าด้วยค่านับฐาน

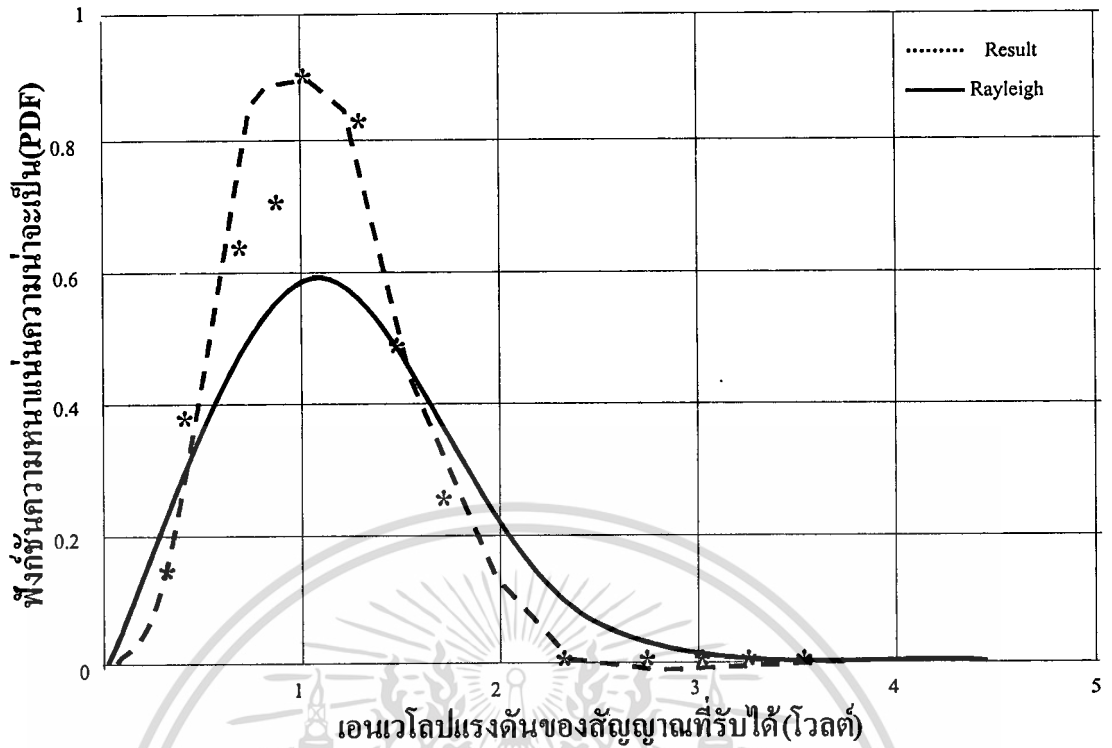
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $\sigma$  คือค่ามัธยฐาน โดยเมื่อนำมาวาดกราฟเป็นฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในแต่ละพื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 4.12, 4.13 และ 4.14 ตามลำดับ ลักษณะการแจกแจงในรูปแบบความน่าจะเป็นของสัญญาณที่รับได้ โดยทั้ง 3 พื้นที่ที่มีการกระจายน้อยกว่าการกระจายแบบเรย์ลีย์ (Rayleigh) การเปรียบเทียบของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของทั้ง 3 เขต แสดงดังรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าเห็นได้ว่าการแจกแจงของเขตพื้นที่ในเมืองมีการกระจายระดับสัญญาณที่รับได้ค่อนข้างมาก เขตพื้นที่ชานเมืองมีการกระจายระดับสัญญาณที่รับได้รองลงมา ส่วนเขตพื้นที่ชนบทเส้นกราฟจะสูงที่สุดซึ่งแสดงว่ามีการกระจายของสัญญาณที่รับได้น้อย

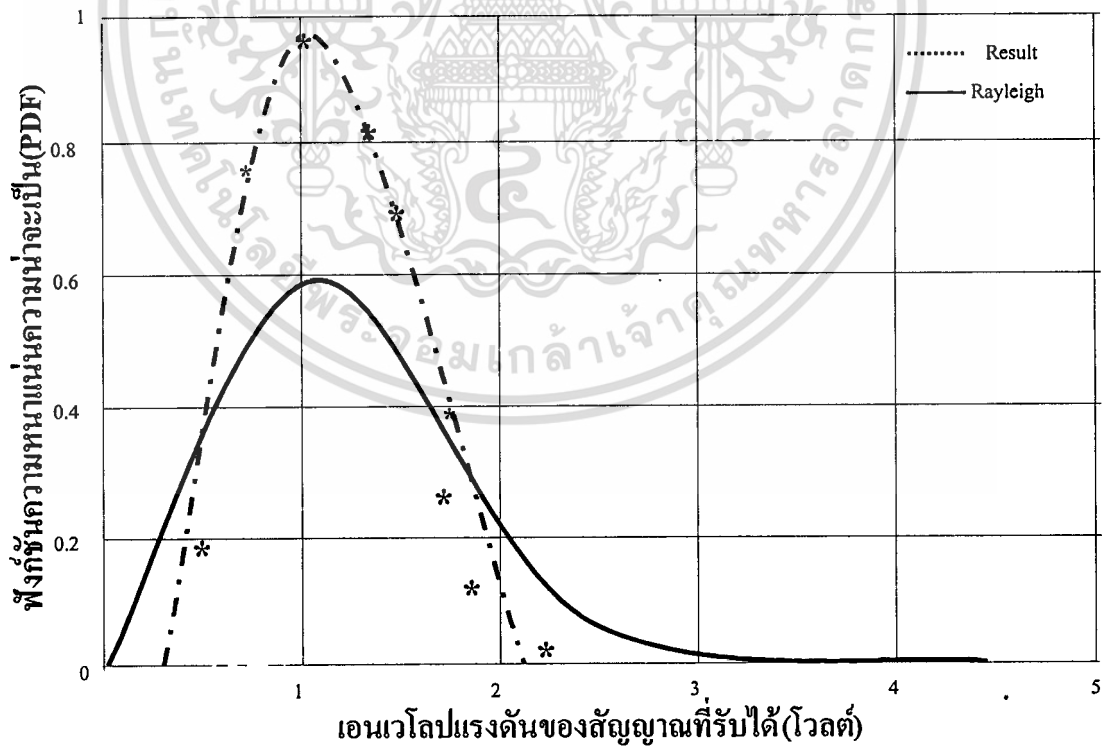
การเปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละเขตพื้นที่ โดยการแจกแจงตามระดับสัญญาณที่รับได้ในหน่วยเดซิเบลแสดงดังรูปที่ 4.16 แกนนอนของกราฟเป็นค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้ในหน่วยเดซิเบล กราฟนี้ได้มาจากข้อมูลของสัญญาณที่ผ่านการลดค่าให้เป็นค่ามัธยฐาน (median) [39] ซึ่งค่ากลางจะอยู่ที่ศูนย์เดซิเบล จะเห็นได้ว่าการกระจายของสัญญาณที่รับได้จะเป็นการกระจายแบบรีเซียน (Ricean) โดยการกระจายของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละเขตนั้นก็จะมีค่าแตกต่างกัน คือในเขตพื้นที่เมืองจะมีการกระจายมากที่สุด รองลงมาคือเขตชานเมือง และเขตพื้นที่ชนบทมีการกระจายของระดับสัญญาณที่รับได้น้อยที่สุด



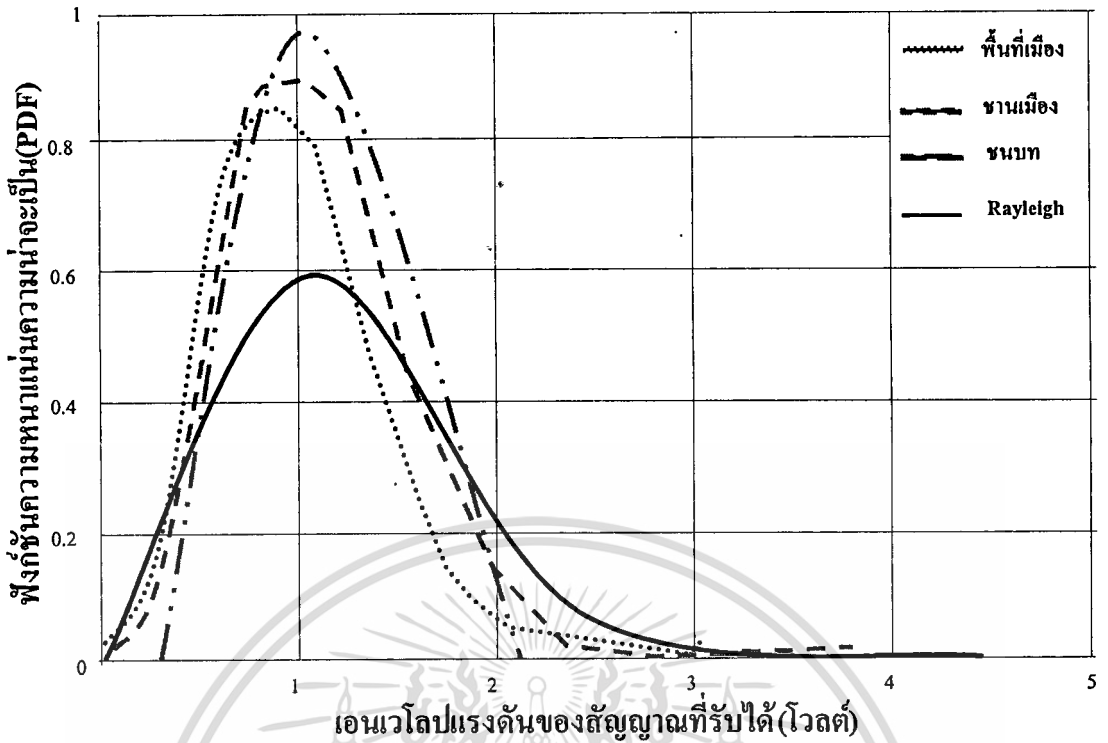
รูปที่ 4.12 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในเขตพื้นที่เมือง



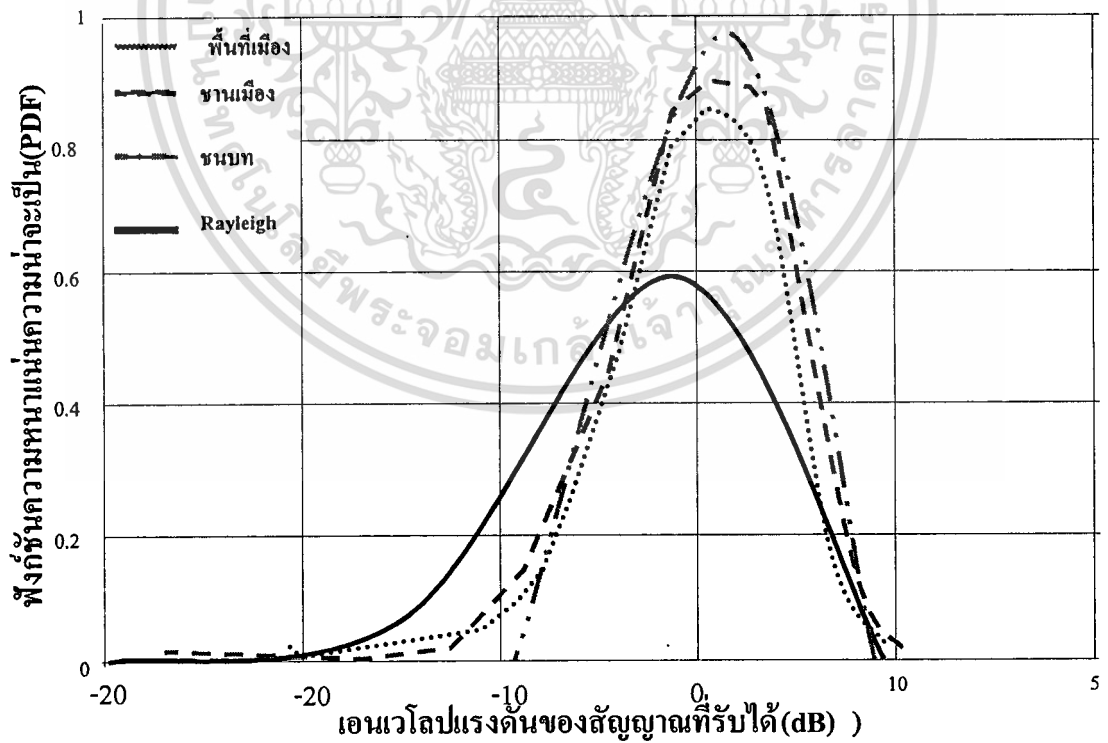
รูปที่ 4.13 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในเขตพื้นที่ชานเมือง



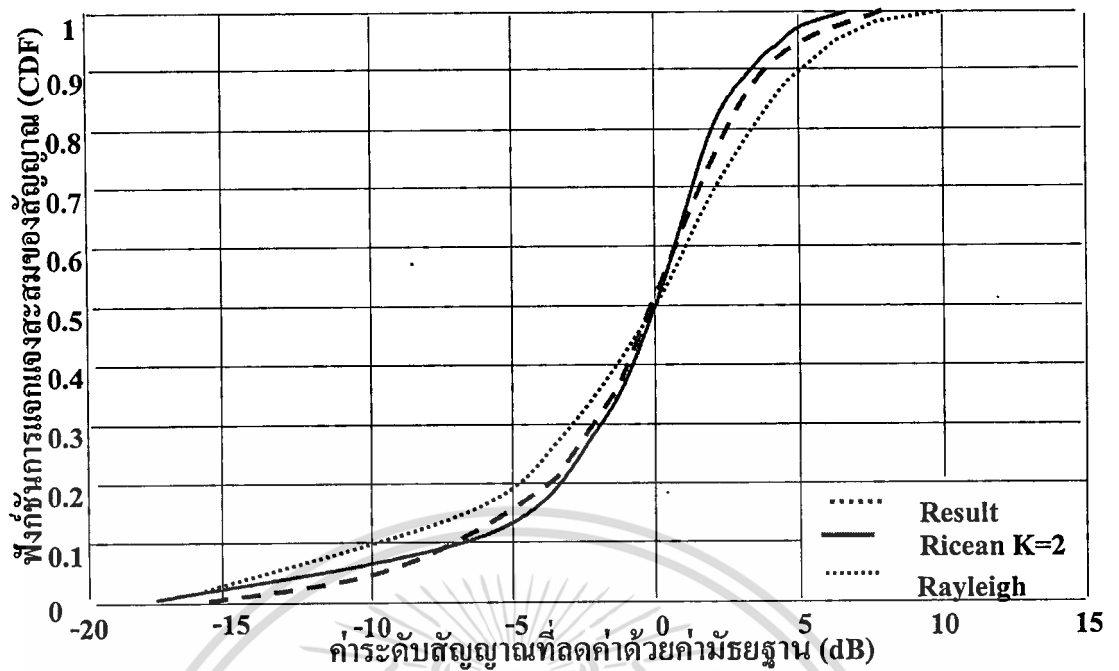
รูปที่ 4.14 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในเขตพื้นที่ชนบท



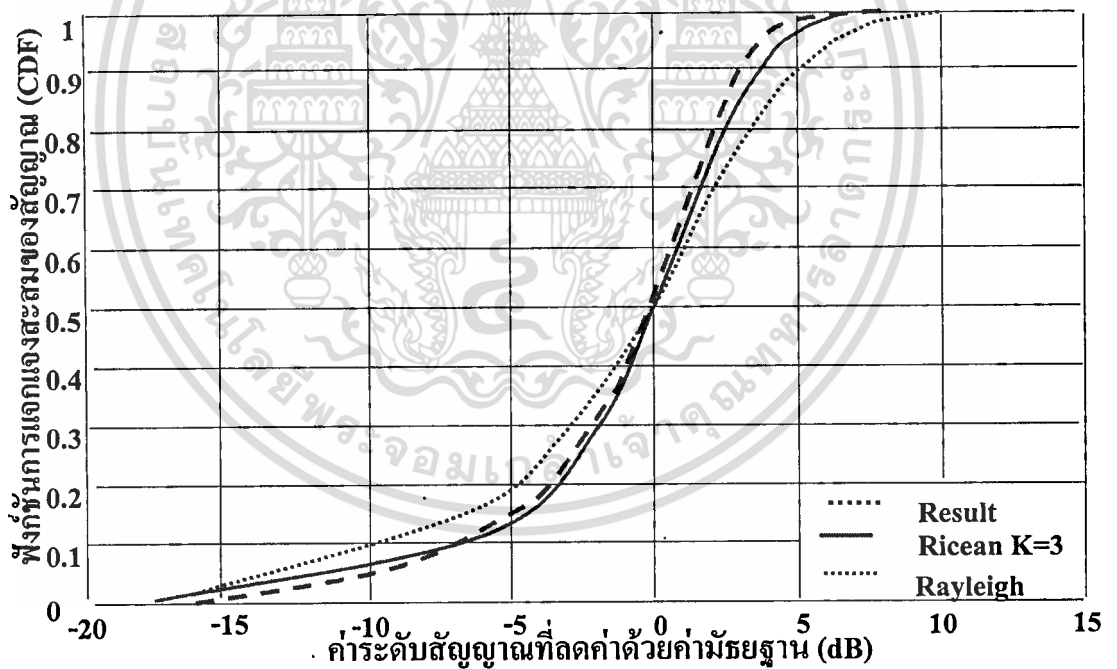
รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของแต่ละเขตพื้นที่



รูปที่ 4.16 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของแต่ละเขตพื้นที่

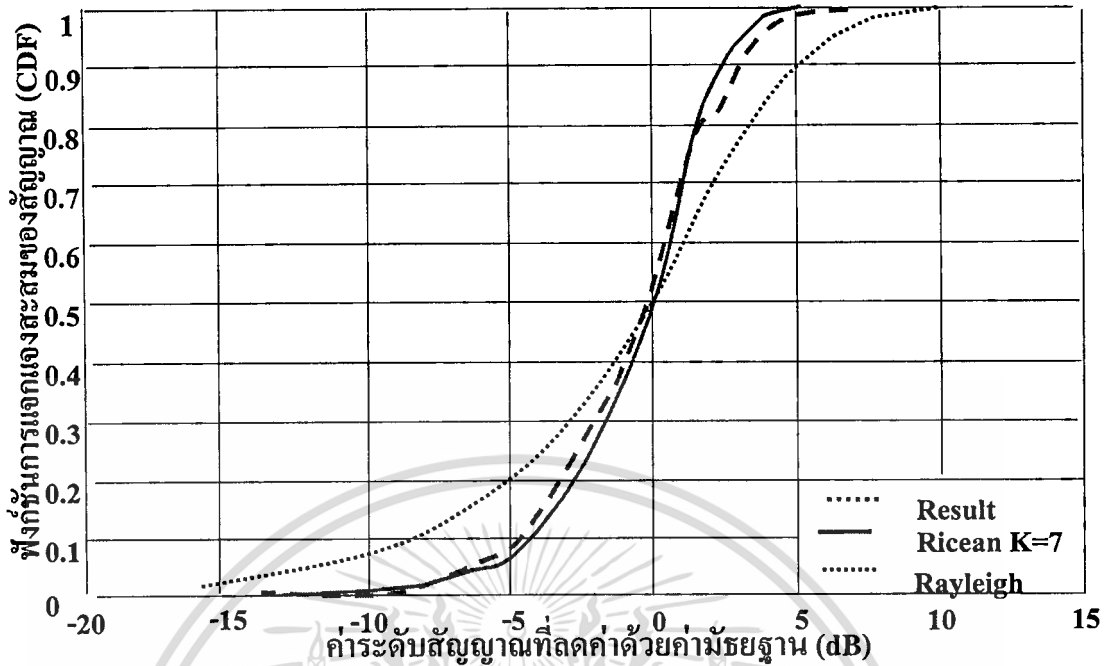


รูปที่ 4.17 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสัญญาณในเขตพื้นที่เมือง

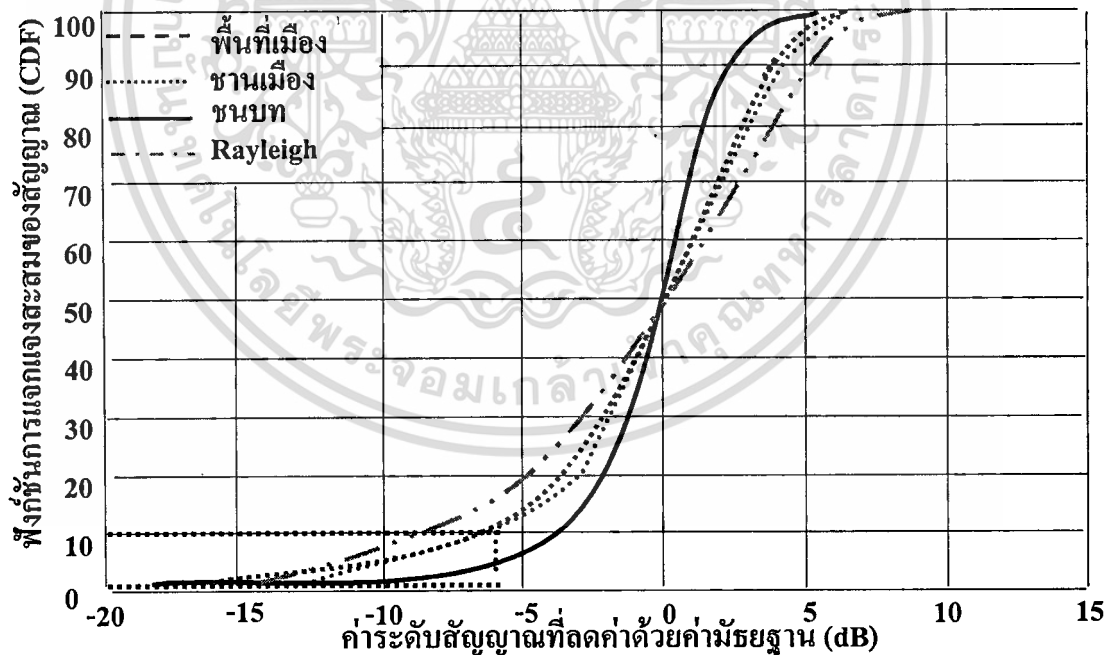


รูปที่ 4.18 ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของสัญญาณในเขตพื้นที่ชานเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ฟังก์ชันแจกแจงสะสมของสัญญาณในเขตพื้นที่ชนบท



รูปที่ 4.20 เปรียบฟังก์ชันแจกแจงสะสมของสัญญาณในแต่ละเขตพื้นที่

จากฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นนำมาหาค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม เพื่อเปรียบเทียบกับกรกระจายแบบบริเชียน เพื่อหาค่า K แฟคเตอร์ (Ricean Factor) ตามสมการที่ (3.77) ในบท

ที่ 3 ค่า K จะบ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูล ถ้าค่า K มีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายมาก ถ้าค่า K มีค่าลบนันต์ การกระจายของข้อมูลจะเท่ากับการกระจายแบบเรย์ลีย์ และถ้า K มีค่ามากกว่าไม่จำกัดทุกชั้น อีกทั้งห้ามมีเหตุขัดแย้งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 มากๆ การกระจายก็จะเท่ากับกระจายแบบเกาส์เซียน[42] โดยฟังก์ชันการแจกแจงแบบสะสมนี้ กราฟที่ใช้ในการหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณตัวอย่างจะน้อยกว่าค่าที่กำหนด (หรือปริมาณที่สนใจ เช่น มีปริมาณตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่ามัธยฐานอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์) โดยฟังก์ชันการแจกแจงสะสมนี้ ทำการลดค่าด้วยค่ามัธยฐานของแต่ละเขตแสดงดังรูปที่ 4.17, 4.18 และ 4.19 จากรูปที่ 4.17 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการกระจายแบบรีเซียนแล้ว จะใกล้เคียงกับการกระจายแบบ รีเซียนที่มีค่า K เท่ากับ 2 จากรูปที่ 4.18 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการกระจายแบบรีเซียน จะใกล้เคียงกับการกระจายแบบรีเซียนที่มีค่า K เท่ากับ 3 ส่วนรูปที่ 4.19 มีการกระจายของสัญญาณที่รับได้น้อยที่สุด เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการกระจายแบบรีเซียน จะใกล้เคียงกับการกระจายแบบรีเซียนที่มีค่า K เท่ากับ 7

การเปรียบเทียบของฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของความน่าจะเป็นในแต่ละเขตแสดงดังรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าการกระจายของสัญญาณจะมีความชันของกราฟ โดยเส้นกราฟที่มีค่า K น้อย จะมีความชันน้อยและมีการกระจายของข้อมูลมาก โดยการกระจายมากที่สุดเป็นการกระจายแบบเรย์ลีย์ จะได้ว่ากราฟของการกระจายแบบเรย์ลีย์นั้นมีความชันน้อยที่สุด กราฟของแต่ละเขตจะมีความชันที่แตกต่างกัน โดยในเขตพื้นที่เมืองจะมีความชันใกล้เคียงกับพื้นที่ชานเมืองของกราฟน้อยกว่าทุกเขต และเส้นกราฟที่ใกล้เคียงกับการกระจายแบบเรย์ลีย์มากที่สุด แสดงให้เห็นว่าค่าของสัญญาณที่รับได้ มีการกระจายมากที่สุดเมื่อเทียบกับพื้นที่ชานเมืองและพื้นที่ชนบท

#### 4.2.2.2 การหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์

วิธีการหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์จะทำการหาค่าเฟดดิ้งจากช่วงของค่าเฟดดิ้ง ค่าเฟดดิ้งเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเฟดดิ้ง นำข้อมูลทั้งหมดมาทำการแจกแจงสามารถหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ได้ดังสมการที่ (4.19)[38][41]

$$\text{ค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ } (F_{\text{dB}}) = 1/2 \text{ ของค่าที่ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ } 90\% \quad (4.19)$$

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดข้อมูลและการคำนวณจากสมการ (4.19)

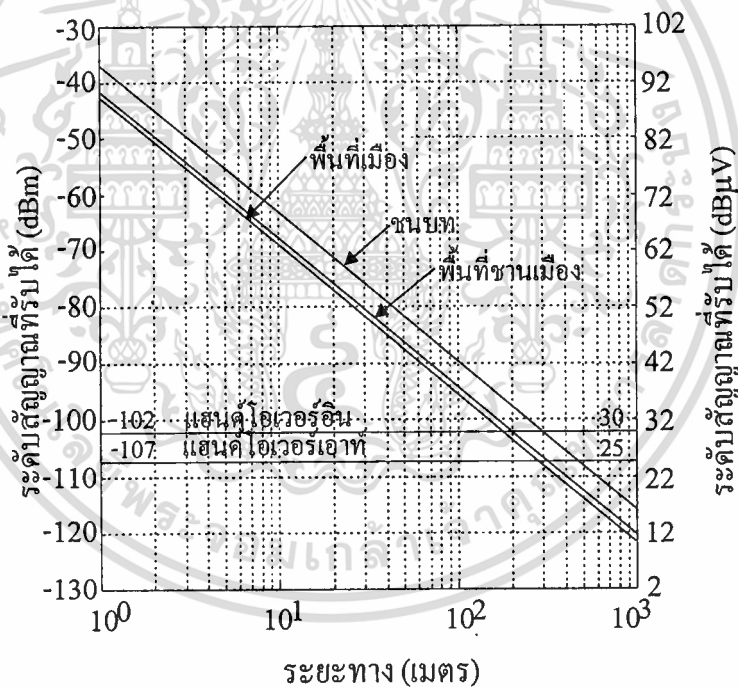
หัวข้อเปรียบเทียบ	เขตพื้นที่เมือง	เขตพื้นที่ชานเมือง	เขตพื้นที่ชนบท
ช่วงการเฟดดิ้ง (dB)	12.43-23.45	9.45-20.96	4.32-12.54
ค่าเฟดดิ้งเฉลี่ย (dB)	18.41	15.48	8.15
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.52	2.09	1.86
ค่าที่ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ 90%	20.48	18.33	9.94
ค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์	10.24	9.17	4.97

เนื่องจากถ้าใช้ระยะสวิงของการเฟดดิ้ง 100% จะทำให้การติดตั้งสถานีเซลล์มีระยะห่างระหว่างเซลล์ใกล้มาก จึงอ้างอิงที่ตำแหน่ง 90% ให้มีการสูญเสีย  $1/2(10\%)$  ให้มีการสูญเสีย 5% ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดข้อมูลและการคำนวณจากสมการที่ (4.19)

#### 4.2.3 การติดตั้งเซลล์ในพื้นที่ต่างๆ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ค่าเฟดดิ้งแฟกเตอร์ตามตารางที่ 4.1 หลังจากที่ได้นำเสนอสมการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นดังสมการที่ (4.17) เมื่อพิจารณาค่าเฟดดิ้งของสัญญาณมีค่าดังแสดงในตารางที่ 4.1 แทนค่าสมการที่ (4.19) ลงในสมการที่ (4.17) และแทนสมการที่ (4.17) ลงในสมการที่ (4.6) จะได้สมการใหม่ดังสมการที่ (4.20)

$$[53.35 + 20 \log_{10} f_c + 26 \log_{10} d + a(h_{cs}) + F_F] = \dot{P}_T (dBW : EIPRP) - P_r (dBm) \quad (4.20)$$

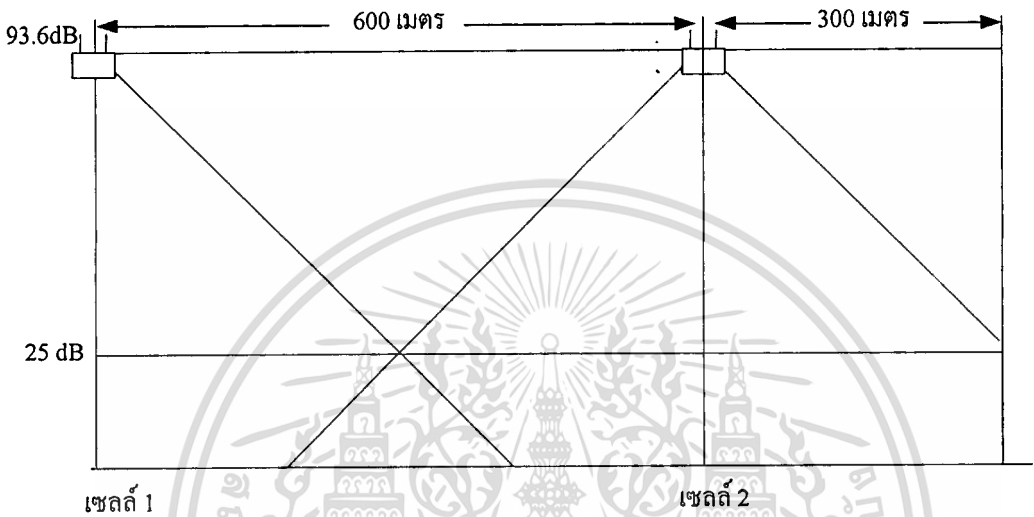


รูปที่ 4.22 ระยะรัศมีของเซลล์ในพื้นที่ต่างๆ

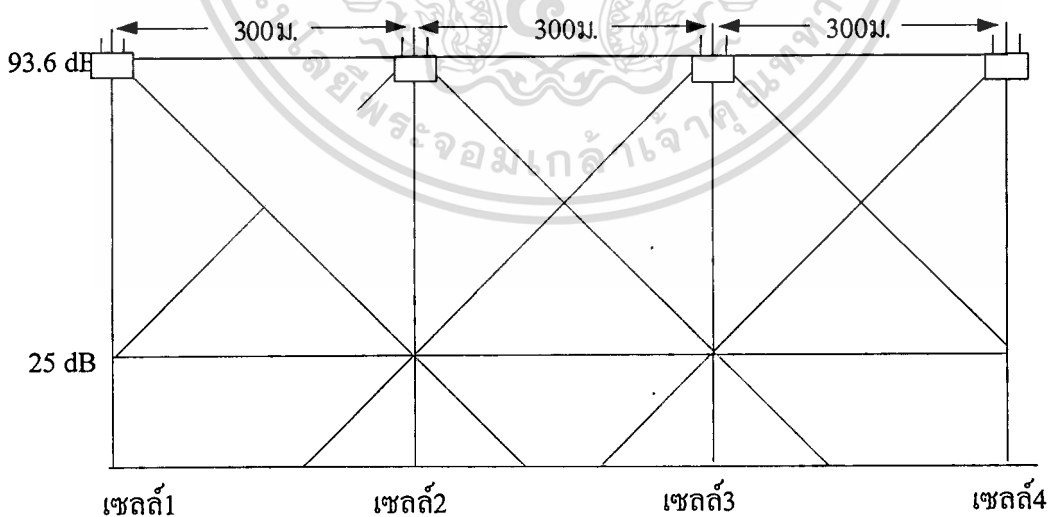
จากคุณสมบัติของระบบโทรศัพท์พหุพจนาคลพีซีที ถ้าสัญญาณมีระดับความแรงต่ำกว่า 30 dBμV หรือเรียกว่าระดับแชนด์โอเวอร์อิน เครื่องโทรศัพท์พีซีที จะทำการหาช่องสัญญาณที่มีความแรงสูงกว่าเพื่อทำการข้ามเซลล์ แต่ถ้าสัญญาณต่ำ 25 dBμV หรือ -107 dBm หรือเรียกว่าระดับแชนด์โอเวอร์เอาท์เครื่องโทรศัพท์พีซีทีจะทำการข้ามเซลล์ ดังนั้นระดับสัญญาณที่ยังใช้งานได้เท่า

กับ 25 dBμV หรือ -107 dBm แทน  $P_r = -107 \text{ dBm}$  ลงในสมการ (4.18) จะได้ระยะทางในแต่ละ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 4.22 สำหรับพื้นที่เมืองจะได้รัศมีเซลล์ 283 เมตร พื้นที่ชานเมืองจะได้รัศมีเซลล์ 311 เมตร และพื้นที่ชนบทจะได้รัศมีเซลล์ 450 เมตร การติดตั้งสถานีเซลล์จะติดตั้งกับเสาไฟฟ้าที่มีระยะห่างระหว่างเสาไฟฟ้านครหลวงเท่ากับ 30 เมตร ฉะนั้นในพื้นที่ชานเมืองจะติดตั้งสถานีเซลล์ห่างกัน 600 เมตรดังแสดงในรูปที่ 4.23 และบริเวณที่มีปริมาณทราฟฟิกมากจะติดตั้งแบบ 2 แคลเรียร์ต่อพื้นที่จะติดตั้งสถานีเซลล์ห่างกัน 300 เมตรดังแสดงในรูปที่ 4.24

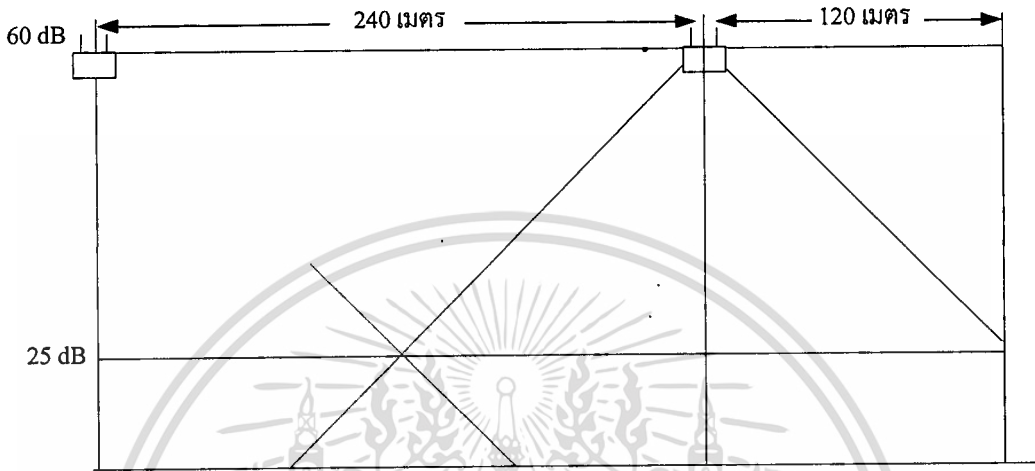


รูปที่ 4.23 ระยะการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่ชานเมือง

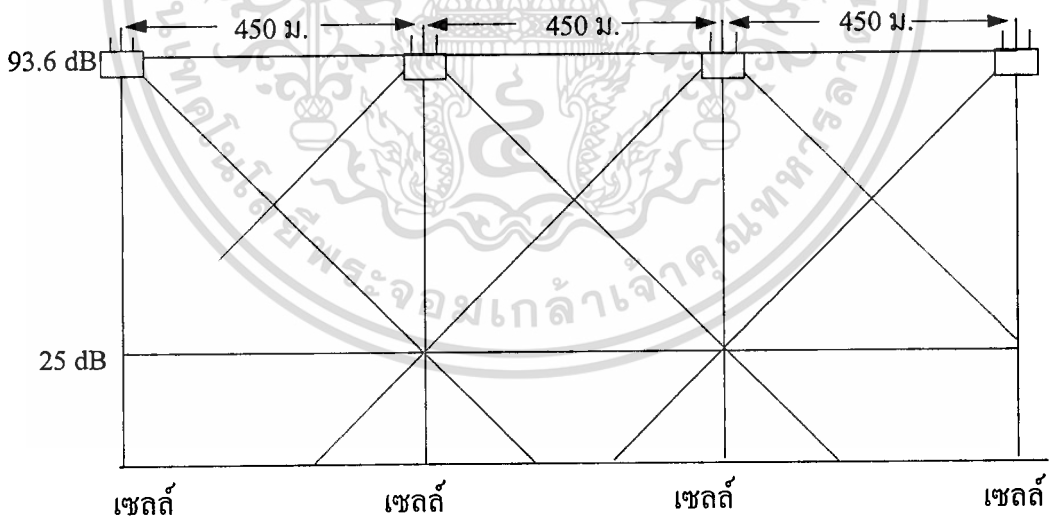


รูปที่ 4.24 ระยะการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่ชานเมืองแบบ 2 แคลเรียร์ต่อพื้นที่

การติดตั้งเซลล์ในพื้นที่ชนบทจะติดตั้งกับเสาไฟฟ้าที่มีระยะห่างระหว่างเสาไฟฟ้าเท่ากับ 30 เมตรตามมาตรฐานการไฟฟ้า ในพื้นที่ชนบทจะติดตั้งสถานีเซลล์ห่างกัน 900 เมตรดังแสดงในรูปที่ 4.25 และบริเวณที่มีปริมาณทราฟฟิกมากจะติดตั้งแบบ 2 แคนเรียร์ต่อพื้นที่จะติดตั้งสถานีเซลล์ห่างกัน 450 เมตรดังแสดงในรูปที่ 4.26



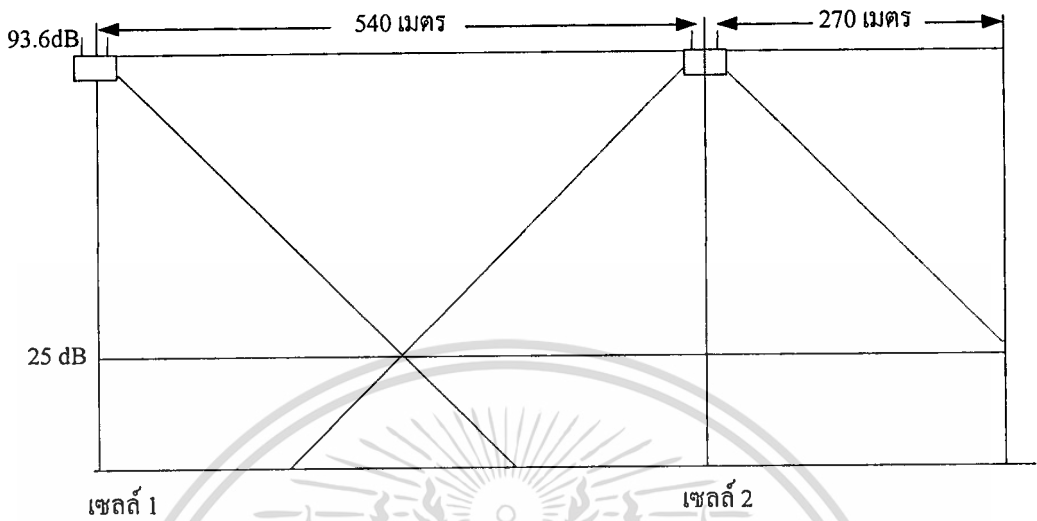
รูปที่ 4.25 ระยะการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่ชนบท



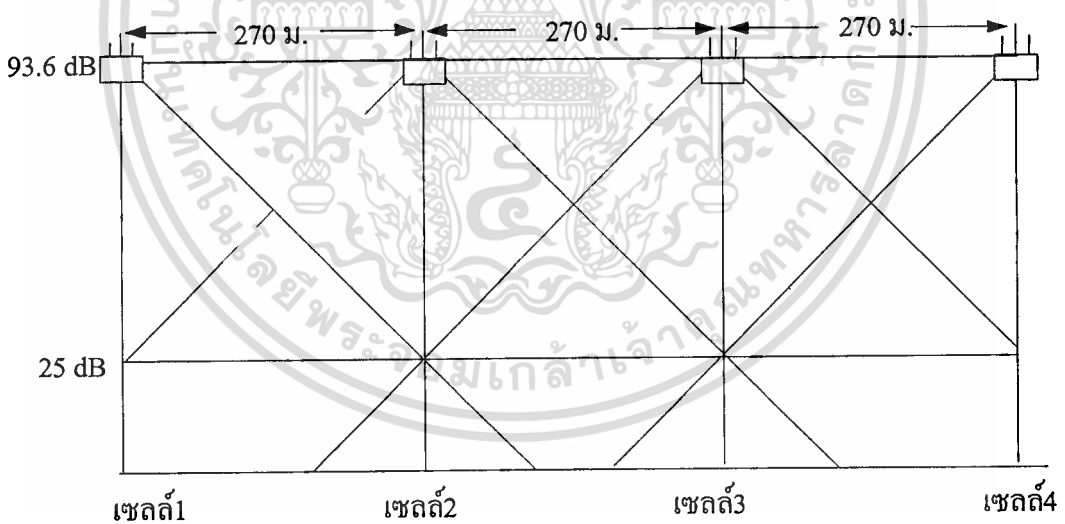
รูปที่ 4.26 ระยะการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่ชนบทแบบ 2 แคนเรียร์ต่อพื้นที่

การติดตั้งเซลล์ในพื้นที่เมืองจะติดตั้งกับเสาไฟฟ้าที่มีระยะห่างระหว่างเสาไฟฟ้าเท่ากับ 30 เมตรตามมาตรฐานการไฟฟ้า ในพื้นที่เมืองจะติดตั้งสถานีเซลล์ห่างกัน 540 เมตรดังแสดงในรูปที่

4.27 และบริเวณที่มีปริมาณทราฟฟิกมากจะติดตั้งแบบ 2 แคนเรียร์ต่อพื้นที่จะติดตั้งสถานีเซลล์ห่างกัน 270 เมตรดังแสดงในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.27 ระยะการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่เมือง

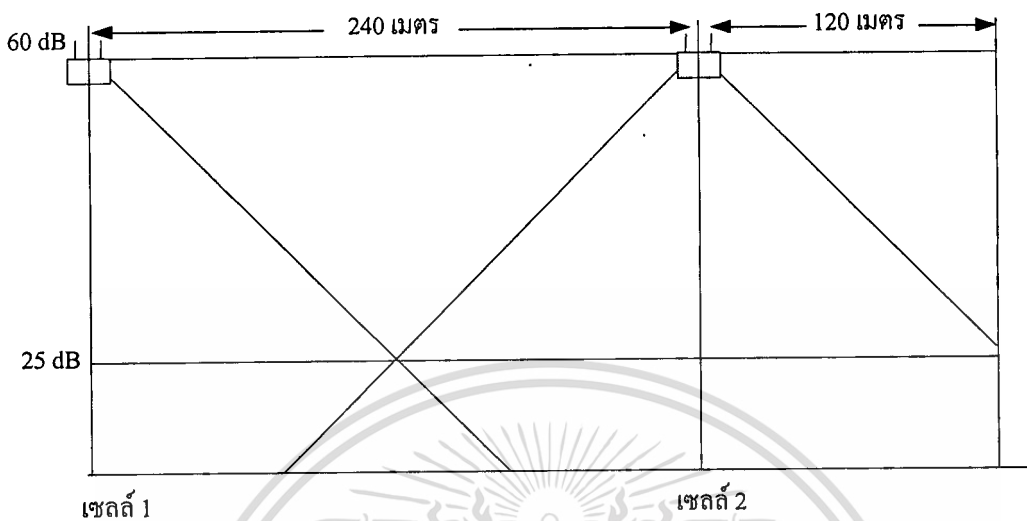


รูปที่ 4.28 ระยะการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่เมืองแบบ 2 แคนเรียร์ต่อพื้นที่

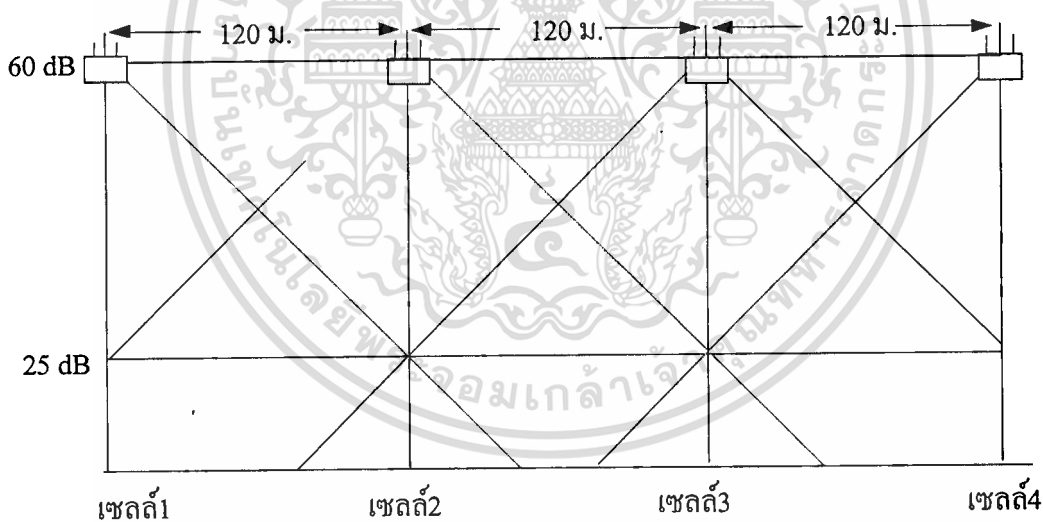
พื้นที่เมืองเป็นพื้นที่ที่มีอาคารสำนักงานธุรกิจมาก มีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ที่ค่อนข้างสูงจึงทำการติดตั้งมีเซลล์กำลังส่ง 20 มิลลิวัตต์ (-16.98 dB) สายอากาศมีอัตราขยาย 7 dBi เพื่อเพิ่มการรองรับทราฟฟิกที่มีมาก จะได้ค่า  $P$ , จากการคำนวณตามสมการ (4.7) มีค่าประมาณ  $10 \text{ dBW} \cdot \text{EIRP}$  ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมการสื่อสารแห่งประเทศไทย เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาเอกสารนี้เห็นว่าเอกสารนี้มีความไม่ถูกต้องใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.29 และบริเวณที่มีปริมาณกราฟฟิกมากขึ้นจะติดตั้งแบบ 2 แครีเยอร์ต่อพื้นที่ จะติดตั้งสถานีเซลล์ห่างกัน 120 เมตรดังแสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.29 ระยะการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่เมือง



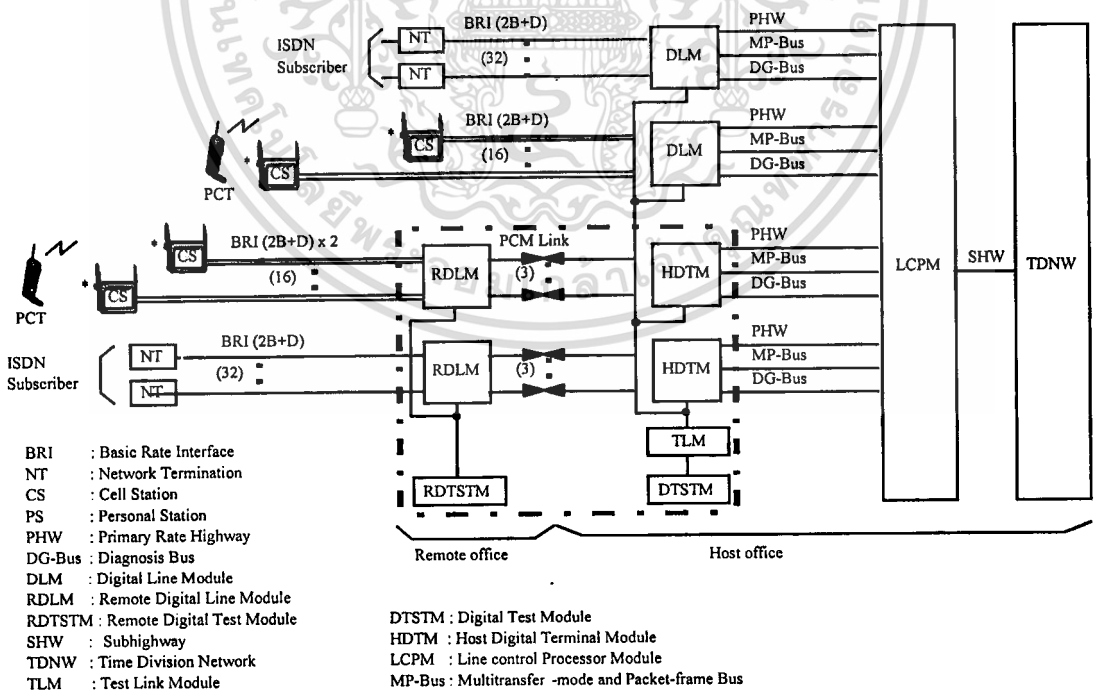
รูปที่ 4.30 ระยะการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ในเขตพื้นที่เมือง แบบ 2 แครีเยอร์ต่อพื้นที่

## บทที่ 5

# การทดสอบผลและผลที่ได้จากการทดสอบ

### 5.1 บทนำ

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบเพื่อวางตำแหน่งเซลล์ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุภาคพิเศษที่สำหรับให้บริการในโหมดสาธารณะดังที่กล่าวมาในบทที่ 4 จากนั้นทำการติดตั้งเซลล์ในพื้นที่ในบริเวณถนนสายหลักต่างๆทั่วบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการโดยพิจารณาการติดตั้งเซลล์ตามสภาพแวดล้อมและปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ในแต่ละพื้นที่ หลังจากนั้นทำทดสอบใน 2 ลักษณะคือ กรณีแรกเมื่อผู้ใช้เดินใช้งานโทรศัพท์บริเวณข้างถนนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำเท่ากับการเดิน กรณีที่สองผู้ใช้โทรศัพท์ใช้งานในรถยนต์ที่เคลื่อนด้วยความเร็วไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมงซึ่งเป็นความเร็วสูงสุดที่ระบบให้บริการได้ โดยโครงสร้างของโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 5.1 จากนั้นทำการวัดทดสอบด้วยเครื่อง LEADER PHS Field Analyzer LF 960 ที่ช่อง 75 (1917.350 MHz) ซึ่งเป็นช่องสัญญาณควบคุมที่ใช้ในการข้ามเซลล์ของเครื่องโทรศัพท์พิเศษที่ซึ่งเป็นช่องที่มีการสูญเสียจากระยะทางมากที่สุด



รูปที่ 5.1 รายละเอียดโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ

จากรูป 5.1 สัญญาณจากเครื่องโทรศัพท์พีซีที จะเชื่อมต่อกับสถานีเซลล์ผ่านอากาศมายัง RDLM ทำหน้าที่ ISDN Basic Rate Interface ส่งผ่าน PCM Link ไปยัง HDTM ที่ PCT Server ส่วนใน RDTSTM เป็นโมดูลที่ทำงานร่วมกับ RDLM ที่อยู่ใน PCT Server ที่ Host Exchange เพื่อตรวจสอบการทำงานของคู่สาย

การทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของเซลล์ในพื้นที่ให้บริการจริงแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะตามการออกแบบคือ

**พื้นที่เขตชานเมือง** เป็นเขตที่มีปริมาณการจราจรไม่มากนัก ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ไม่สูงมากนักมีสิ่งก่อสร้างไม่สูงมากนักอยู่ข้างถนน มีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ปานกลาง เลือกใช้พื้นที่บริเวณถนนรัชดาภิเษก สำหรับการทดสอบผล

**พื้นที่เขตชนบท** เป็นเขตพื้นที่ที่ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงข้างถนนไม่มีสิ่งก่อสร้างหรือมีน้อยมาก เลือกพื้นที่บริเวณถนนบางนา-ตราด สำหรับการทดสอบผล

**พื้นที่เมือง** เป็นเขตย่านธุรกิจที่มีการจราจรคับคั่งมีสิ่งก่อสร้างอาคารสูงอยู่ข้างทางและมีปริมาณ ทราฟฟิกของการใช้งานโทรศัพท์สูง เลือกใช้พื้นที่บริเวณถนนสีลมสำหรับการทดสอบผล

## 5.2 การทดสอบการเดินใช้งานบริเวณริมถนน

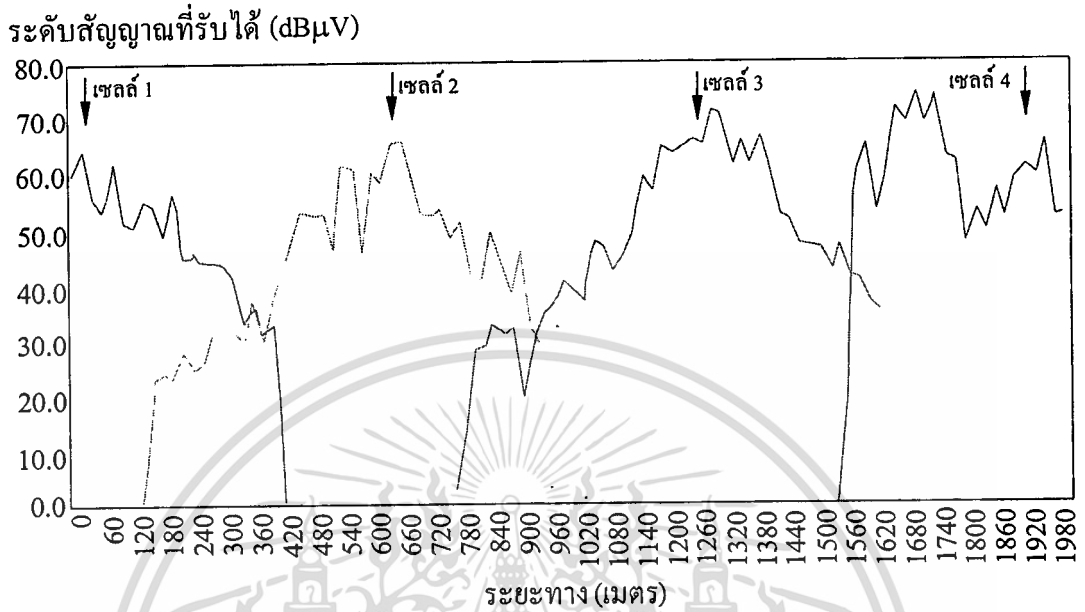
ในการทดสอบการเดินใช้งานโดยทำการวัดรวบรวมผลด้วยเครื่อง LEADER PHS Field Analyzer LF 960 ทำการเดินวัดสัญญาณแบบจุดต่อจุด แต่ละจุดห่างกัน 1 เมตรจากนั้นนำค่าที่ได้จากการวัดมาพล็อตกราฟจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 5.2.1 การทดสอบในพื้นที่ชานเมือง

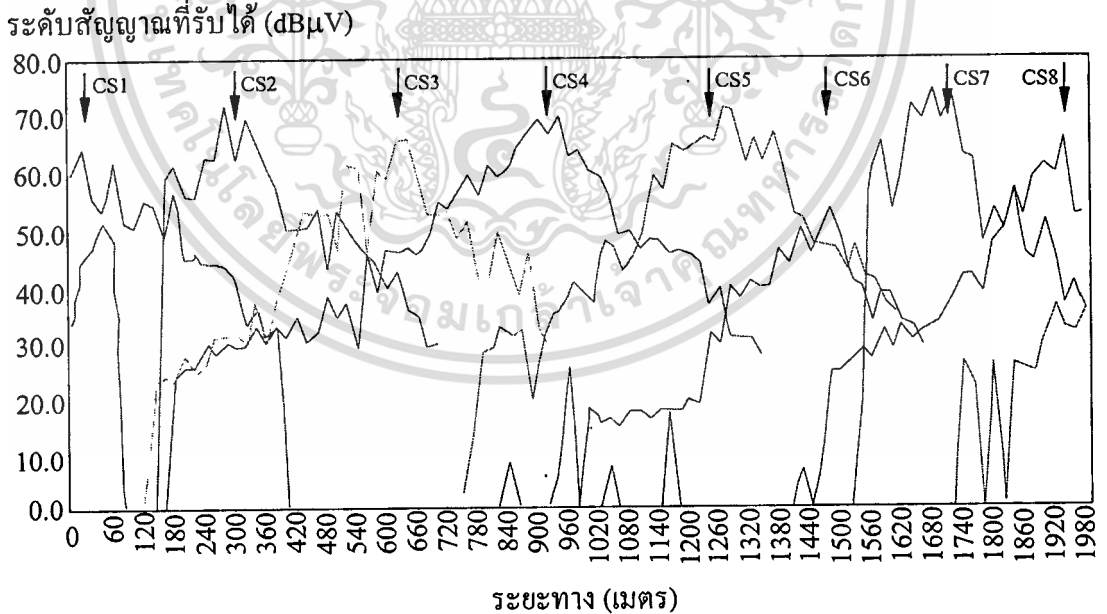
การทดสอบผลของการออกแบบการวางเซลล์ในพื้นที่เขตชานเมืองนั้น จะทำการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ ไว้ที่เสาไฟฟ้าที่ความสูง 4.5 เมตรบริเวณถนนรัชดาภิเษก โดยติดตั้งสถานีเซลล์ห่างกันประมาณ 600 เมตรดังแสดงในรูปที่ 4.23 เมื่อทำการเดินวัดทดสอบโดยเครื่องวัดสูงจากพื้น 1.5 เมตรจะได้ผลทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.2 จากรูปจะเห็นว่าตลอดระยะที่ทำการทดสอบ โดยเฉพาะช่วงต่อระหว่างเซลล์มีระดับสูงกว่า 30 dB $\mu$ V ซึ่งเป็นระดับสัญญาณที่ใช้ในการเปลี่ยนเซลล์จึงสามารถใช้งานได้โดยไม่มีพื้นที่ที่เป็นจุดบอด จากนั้นทำการทดสอบโดยการติดตั้งเซลล์แบบ 2 แครียร์ต่อพื้นที่ ในบริเวณที่คาดว่าจะมีการใช้งานโทรศัพท์มากกว่าปกติคือบริเวณด้านหน้าห้างโรบินสันรัชดาและห้างเวสต์ โดยติดตั้งเซลล์ห่างกัน 300 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.24 เมื่อทำการเดินวัดทดสอบได้ผลแสดงดังรูปที่ 5.3 จากรูปจะพบว่าในบริเวณถนนรัชดาภิเษก สัญญาณส่วนใหญ่มีความแรงมากกว่าระดับ 40 dB $\mu$ V แม้บริเวณที่มีเฟดดิ้งสูงสุดที่ 20.96 dB หรือมีการเปลี่ยน

เอกสารนี้แปลลงระดับสัญญาณจาก 40 dB $\mu$ V ไป  $\pm 10.48$  dB ก็ยังไม่ถึง 25 dB $\mu$ V จากรูปที่ 4.24 เซลล์ 6 ที่มีไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณต่ำกว่าเซลล์อื่นๆจากการตรวจสอบพบว่าเซลล์ 6 มีกำลังส่งออกต่ำกว่าปกติ เมื่อทำการเปลี่ยนเซลล์ก็จะสามารถแก้ปัญหาได้



รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบบริเวณถนนรัชดาภิเษกเมื่อวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ห่างกัน 600 เมตร



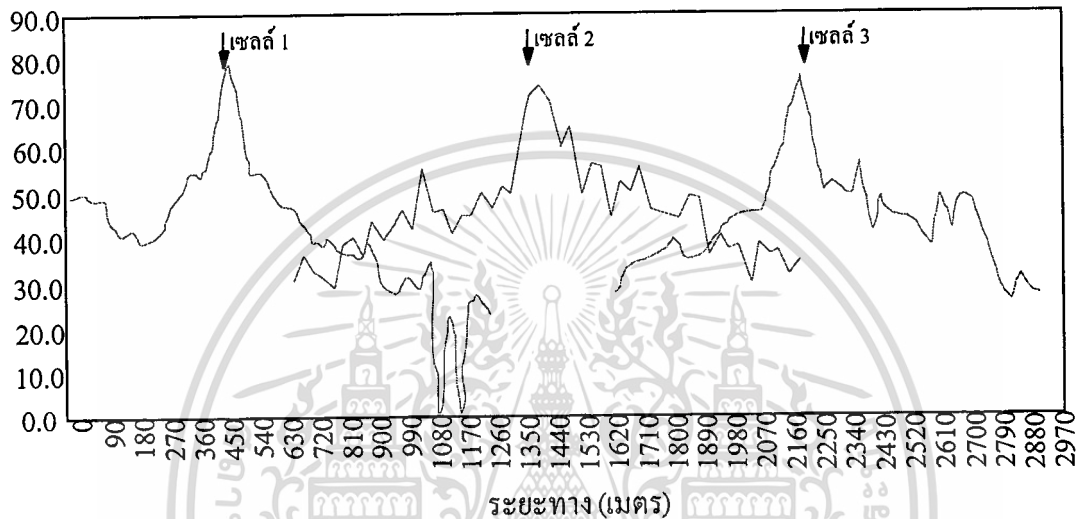
รูปที่ 5.3 ผลการทดสอบบริเวณถนนรัชดาภิเษกเมื่อวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ห่างกัน 300 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2.2 การทดสอบในพื้นที่ชนบท

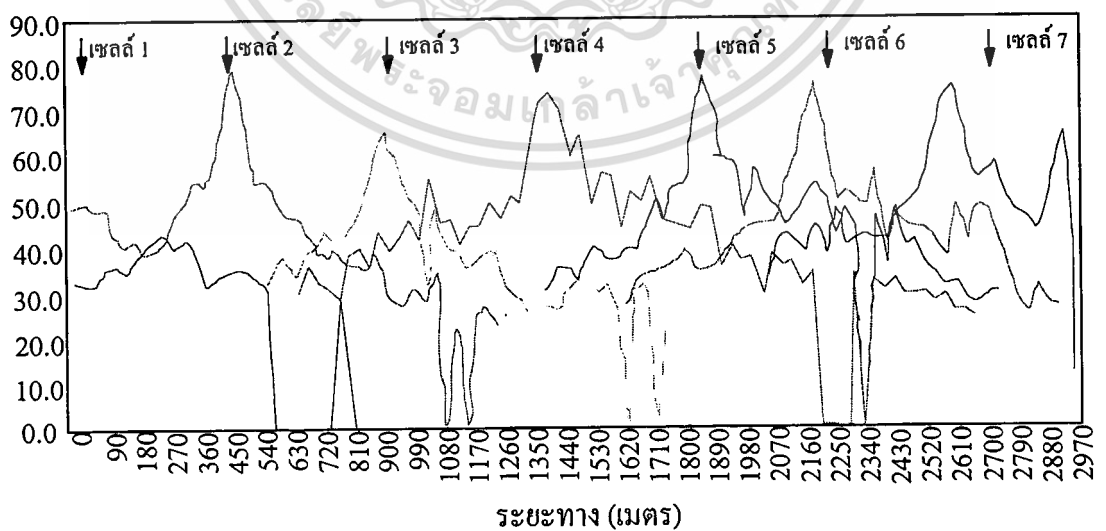
การทดลองผลของการวางเซลล์ในพื้นที่เขตชานเมืองนั้น จะทำการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ ไร้ที่เสาไฟฟ้าที่ความสูง 4.5 เมตรบริเวณถนนบางนา-ตราด โดยติดตั้งสถานีเซลล์ห่างกัน ประมาณ 900 เมตรดังแสดงในรูปที่ 4.25 เมื่อทำการเดินวัดทดสอบโดยเครื่องวัดสูงจากพื้น 1.5 เมตรจะได้ทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.4

ระดับสัญญาณที่รับได้ (dB $\mu$ V)



รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบบริเวณถนนบางนา-ตราดเมื่อวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ห่างกัน 900 เมตร

ระดับสัญญาณที่รับได้ (dB $\mu$ V)

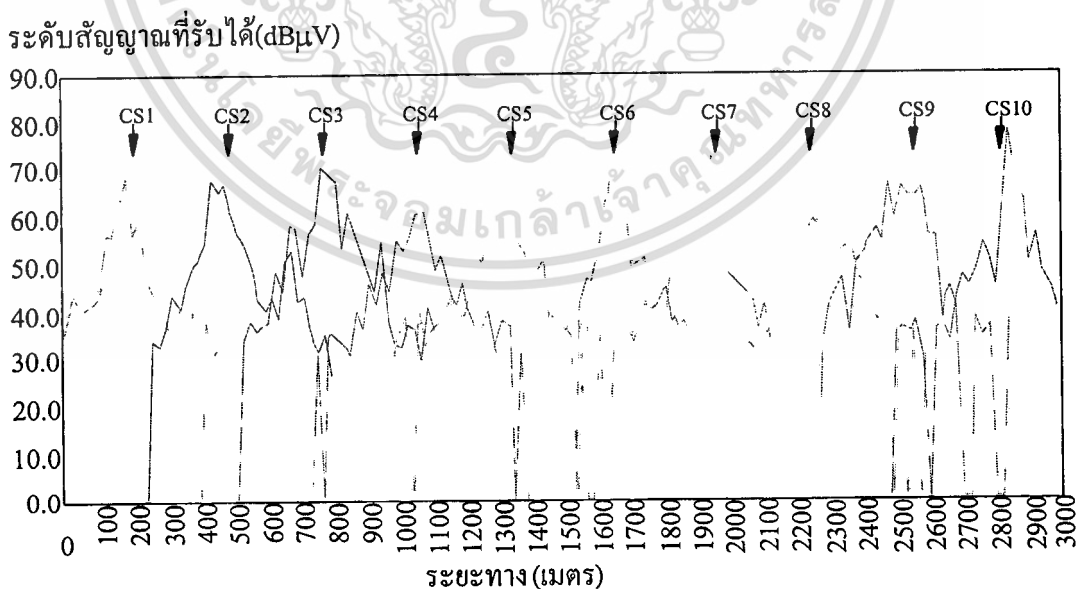


รูปที่ 5.5 ผลการทดสอบในพื้นที่เขตถนนไฮเวย์ บริเวณถนนบางนา-ตราดห่างกัน 450 เมตร

จากรูปจะเห็นได้ว่าตลอดระยะที่ทำการทดสอบ โดยเฉพาะช่วงต่อระหว่างเซลล์มีระดับสูงกว่า 40 dB $\mu$ V ซึ่งเป็นระดับสัญญาณที่ใช้ในการเปลี่ยนเซลล์จึงสามารถใช้งานได้โดยไม่มีพื้นที่ที่เป็นจุดบอด จากนั้นทำการทดสอบโดยการติดตั้งเซลล์แบบ 2 แกริย์ร์ต่อพื้นที่ ในบริเวณที่คาดว่าจะมีการใช้งานโทรศัพท์มากกว่าปกติคือบริเวณด้านหน้าห้างเซ็นทรัล บางนา โดยติดตั้งเซลล์ห่างกัน 450 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.26 เมื่อทำการเดินวัดทดสอบได้ผลแสดงดังรูปที่ 5.5 จากรูปจะพบว่าสัญญาณส่วนใหญ่มีความแรงมากกว่าระดับ 40 dB $\mu$ V แม้บริเวณจะมีเฟดดิ้งสูงสุดที่ 12.54 dB หรือมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณจาก 40 dB $\mu$ V ไป  $\pm$ 6.27 dB ก็ยังไม่ถึง 25 dB $\mu$ V

### 5.2.3 การทดสอบในเขตพื้นที่เมือง

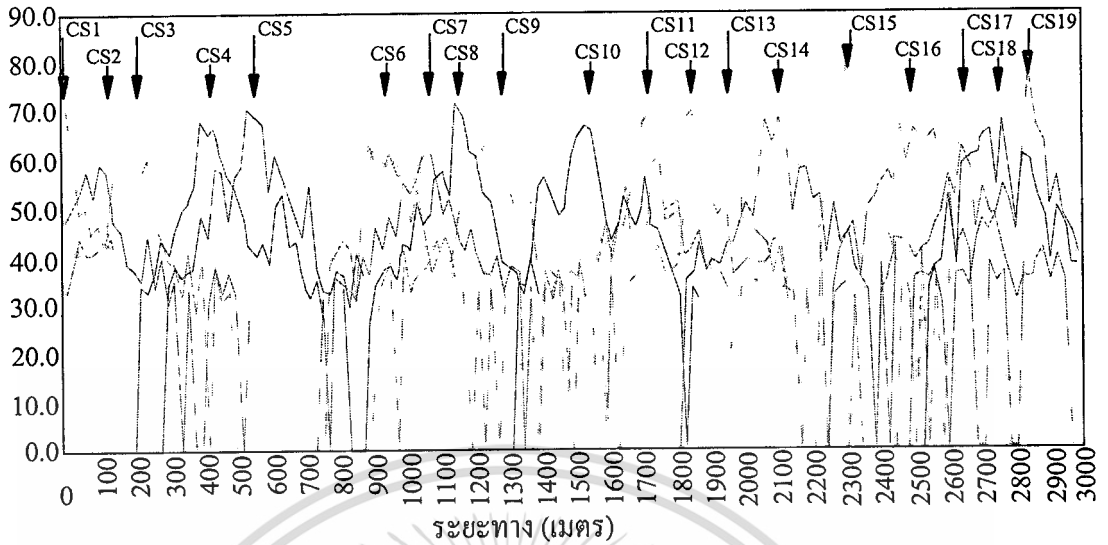
การทดลองผลของการออกแบบการวางเซลล์ในเขตพื้นที่เมือง ที่เป็นบริเวณย่านธุรกิจ ซึ่งมีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ที่หนาแน่น ถ้าหากการติดตั้งสถานีเซลล์ ขนาด 200 มิลลิวัตต์ ก็จะมีปริมาณช่องสัญญาณไม่เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งในพื้นที่บริเวณนี้จึงควรที่จะเลือกใช้งานเซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ เพื่อเพิ่มปริมาณช่องสัญญาณให้สามารถรับปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ที่หนาแน่นได้ ดังนั้นในการทดลองได้ทำการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ ไว้ที่เสาไฟฟ้าบริเวณถนนสีลม โดยทำการวางเซลล์ห่างกันประมาณ 120 เมตรและ 240 เมตรดังแสดงในรูปที่ 4.29 และรูปที่ 4.30 ซึ่งเมื่อทำการเดินวัดทดสอบที่ความสูงประมาณ 1.5 เมตร ผลการทดสอบจะแสดงดังรูปที่ 5.6 และ 5.7



รูปที่ 5.6 ผลการทดสอบในเขตพื้นที่เมือง บริเวณถนนสีลมห่างกัน 240 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับสัญญาณที่รับได้ (dB $\mu$ V)



รูปที่ 5.7 ผลการทดสอบในพื้นที่เขตพื้นที่เมือง บริเวณถนนสีลมห่างกัน 120 เมตร

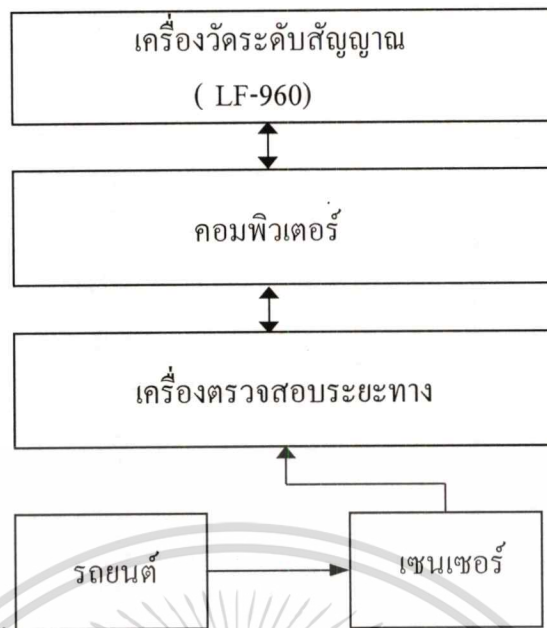
จากรูปที่ 5.6 และ 5.7 เป็นการแสดงผลจากการวัดสัญญาณบริเวณถนนสีลม ระดับสัญญาณส่วนใหญ่จะสูงกว่า 40 dB $\mu$ V โดยมีเพียงจุดเดียวในรูปที่ 5.7 ระหว่าง CS5 กับ CS6 ที่สัญญาณต่ำกว่า 40 dB $\mu$ V แม้บริเวณนี้มีเฟดดิ้งสูงสุดที่ 23.45 dB หรือมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณจาก 40 dB $\mu$ V ไป  $\pm 12.72$  dB ก็ยังไม่ถึง 25 dB $\mu$ V ซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าเป็นจุดสี่แยกไฟจราจรที่ไม่สามารถติดตั้งเซลล์เสตชันได้ ระยะทางช่วงนี้จึงมากกว่าที่กำหนดไว้ แต่ก็ยังสามารถใช้งานได้

### 5.3 การทดสอบการใช้งานเคลื่อนที่ในรถยนต์

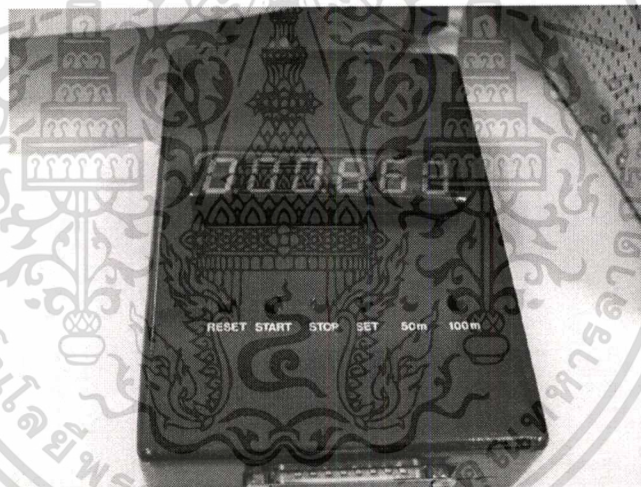
การทดสอบการใช้งานได้ทำการออกแบบระบบแสดงผลระดับสัญญาณในพื้นที่บริการ เพื่อทำการทดสอบเก็บข้อมูลของระดับสัญญาณที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยระบบที่ทำการออกแบบมีบล็อกไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 5.8 เมื่อรถยนต์เคลื่อนที่เซนเซอร์จะส่งพัลส์เข้ามายังเครื่องตรวจสอบระยะทางดังแสดงในรูปที่ 5.9 ตัวเครื่องตรวจสอบระยะทางจะทำการนับพัลส์ที่เข้ามาเมื่อเคลื่อนที่จนถึงระยะทางที่ต้องเก็บข้อมูลไมโครคอนโทรลเลอร์จากเครื่องตรวจสอบระยะทางจะทำการส่งข้อมูลเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ จากนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์จะทำการเก็บข้อมูลจากเครื่องวัดระดับความแรงของสัญญาณ(LF-960) ของสถานีเซลล์พร้อมทั้งบันทึกระดับสัญญาณ หมายเลขของสถานีเซลล์และระยะทางที่ทำการเก็บข้อมูล

จากนั้นทำการวัดโดยขับรถยนต์ไปตามถนนเส้นทางต่างๆบริเวณถนนรัชดาภิเษกที่ความเร็ว 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยจะทำการเก็บผลทุกๆ 3 เมตร โดยระบบจะได้เลขหมายของสถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

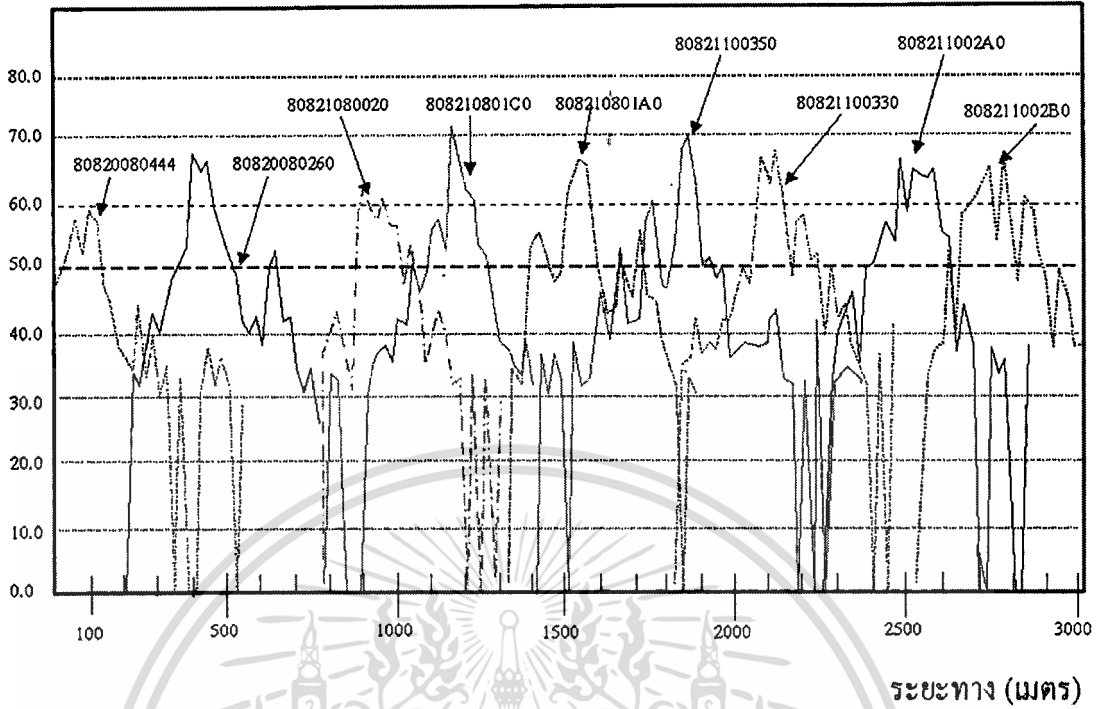


รูปที่ 5.9 เครื่องตรวจสอบระยะทางที่พัฒนาขึ้น

เซลล์ และค่าระดับสัญญาณ จากนั้นโปรแกรมจะแสดงระดับสัญญาณของสถานีเซลล์แต่ละเซลล์ สำหรับถนนรัชดาภิเษกแสดงดังรูปที่ 5.10 ในการวัดโดยขับรถยนต์ไปตามถนนเส้นทางต่างๆ บริเวณถนนรัชดาภิเษกที่ความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยจะทำการเก็บผลทุกๆ 3 เมตร โดยระบบจะได้เลขหมายของสถานีเซลล์ และค่าระดับสัญญาณ จากนั้นโปรแกรมจะแสดงระดับสัญญาณของสถานีเซลล์แต่ละเซลล์ สำหรับถนนบางนา-ตราดแสดงดังรูปที่ 5.11 และทำการวัดโดยขับรถยนต์ไปตามถนนเส้นทางต่างๆ บริเวณถนนสีลมที่ความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยจะทำการเก็บผลทุกๆ 1 เมตรแสดงดังรูปที่ 5.12

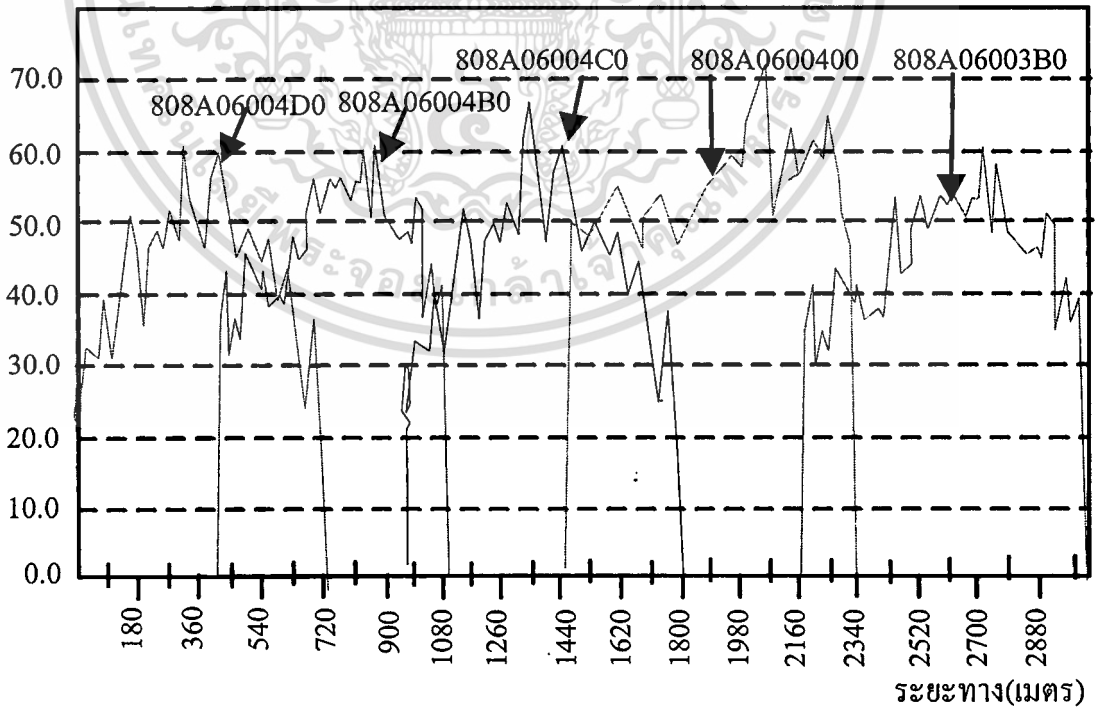
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแรงสัญญาณ (dB $\mu$ V)



รูปที่ 5.10 กราฟระดับความแรงสัญญาณในพื้นที่ถนนรัชดาภิเษก

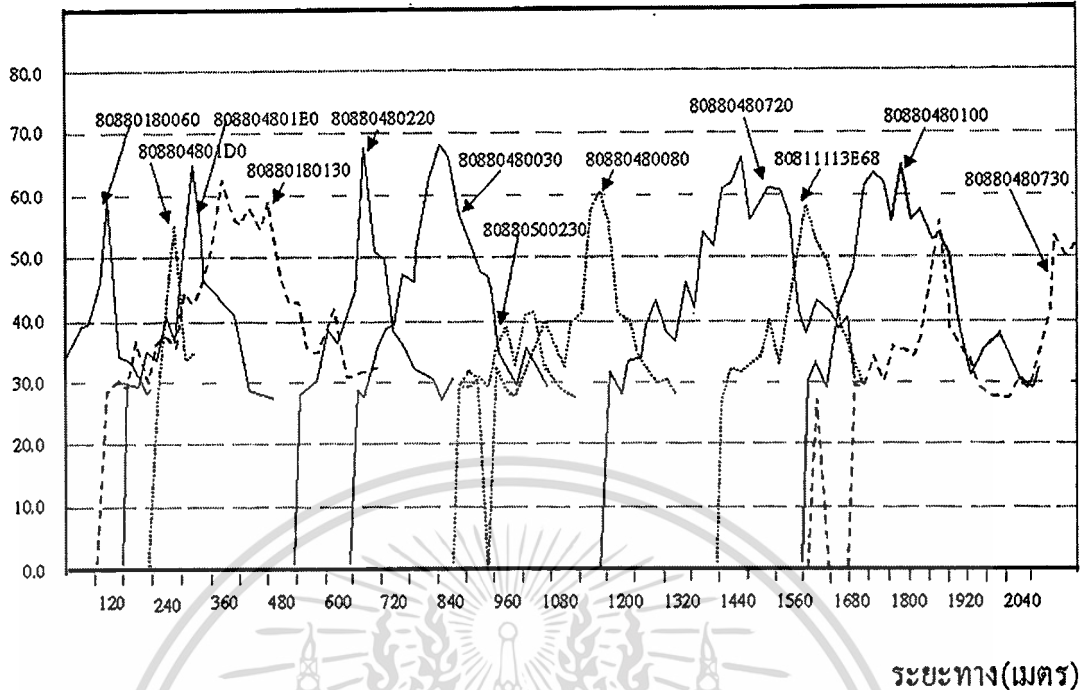
ความแรงของสัญญาณ (dB  $\mu$ V)



รูปที่ 5.11 กราฟระดับความแรงสัญญาณในพื้นที่ถนนบางนา-ตราด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแรงสัญญาณ (dB $\mu$ V)



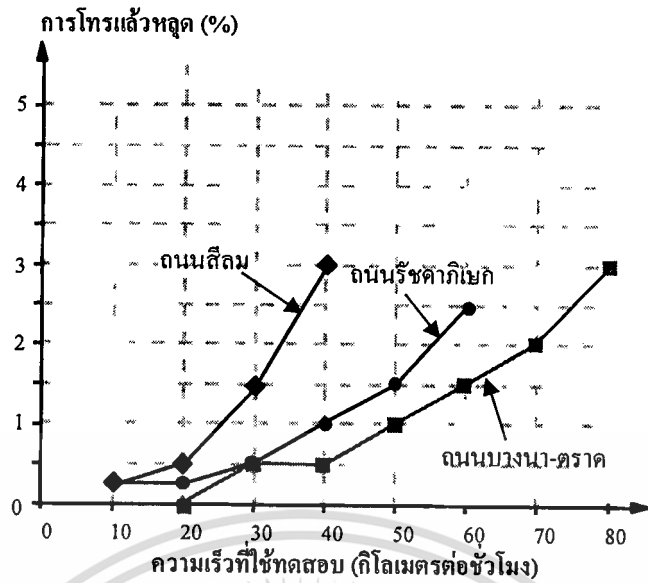
รูปที่ 5.12 กราฟระดับความแรงสัญญาณในพื้นที่ถนนสีลม

จากรูปที่ 5.10 จะมีระดับสัญญาณระดับสัญญาณส่วนใหญ่จะสูงกว่า 40 dB $\mu$ V ยกเว้นระหว่างสถานีเซลล์หมายเลข 8082008044 กับสถานีเซลล์หมายเลข 8082008026 และสถานีเซลล์หมายเลข 80821080020 จะมีระดับสัญญาณต่ำกว่า 30 dB $\mu$ V เนื่องการไม่ได้ติดตั้งแบบ 2 แครียร์ต่อพื้นที่เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเดินวัดทดสอบจะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

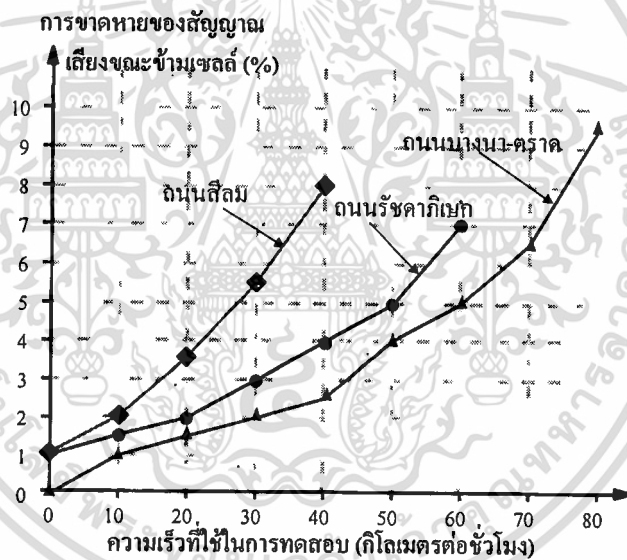
จากรูปที่ 5.11 ระดับสัญญาณส่วนใหญ่สูงกว่า 40 dB $\mu$ V เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเดินวัดทดสอบจะเห็นได้ว่ามีค่าระดับสัญญาณต่ำกว่ามากเนื่องจากการเกิดปรากฏการณ์คอปเปอเรชั่นมาก ส่วนรูปที่ 5.12 ระดับสัญญาณส่วนใหญ่จะสูงกว่า 30 dB $\mu$ V เมื่อเปรียบเทียบกับผลการเดินวัดทดสอบจะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

#### 5.4 การทดสอบประสิทธิภาพการใช้งาน

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบในบทที่ 4 และทำการติดตั้งทดสอบได้ผลดังแสดงในหัวข้อ 5.2 และ 5.3 จากนั้นใช้หลักการดังกล่าวกับพื้นถนนที่ต่างๆในบริเวณกรุงเทพและปริมณฑล โดยการวางเซลล์สเตชัน 200 มิลลิวัตต์ จำนวน 4,200 เซลล์และ 20 มิลลิวัตต์จำนวน 1,000 เซลล์ ครอบคลุมพื้นที่ 1,500 ตารางกิโลเมตร หลังจากทำการวัดทดสอบพบว่าโดยการใช้งานที่ความเร็วต่างๆจะเกิดการโทรแล้วหลุดน้อยกว่า 3 % และมีช่วงเวลาการขาดหายของสัญญาณไม่เกิน 10 % ดังแสดงในรูปที่ 5.13 และ 5.14 จากรูปที่ 5.13 และ 5.14 บริเวณถนนสีลมจะใช้งาน โทรศัพท์พีซีทีได้ที่ความเร็ว- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 ผลการเกิดเปอร์เซ็นต์การโทรแล้วหลุดในพื้นที่ต่างๆที่ความเร็วต่างๆ



รูปที่ 5.14 ผลการเกิดการขาดหายของสัญญาณเสี่ยงขณะข้ามเซลล์ในพื้นที่ต่างๆที่ความเร็วต่างๆ

สูงสุดไม่เกิน 40 กิโลเมตรเนื่องจากใช้สถานีเซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ สถานีเซลล์มีรัศมีการบริการ 120 เมตรจะมีเปอร์เซ็นต์การโทรแล้วหลุดไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ และเปอร์เซ็นต์การขาดหายของเสียงไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ บริเวณถนนรัชดาภิเษกจะใช้งานโทรศัพท์พีซีทีได้ที่ความเร็วสูงสุดไม่เกิน 60 กิโลเมตรเนื่องจากใช้สถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ สถานีเซลล์มีรัศมีการบริการ 300 เมตรจะมีเปอร์เซ็นต์การโทรแล้วหลุดไม่เกิน 2.5 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์การขาดหายของเสียงไม่เกิน 7 เปอร์เซ็นต์ บริเวณถนนบางนาตราดจะใช้งานโทรศัพท์พีซีทีได้ที่ความเร็วสูงสุดไม่เกิน 80 กิโลเมตรเนื่องจากใช้สถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ สถานีเซลล์มีรัศมีการบริการ 450 เมตรจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์การโทรแล้วหลุดไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์การขาดหายของเสียงไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วเดียวกันบริเวณถนนสี่ลมจะมีเปอร์เซ็นต์การโทรแล้วหลุดมากกว่าถนนรัชดาภิเษกและถนนบางนา-ตราดเนื่องจากปริมาณทราฟฟิกสูงกว่าทั้งสองบริเวณ ส่วนบริเวณถนนบางนา-ตราดจะมีเปอร์เซ็นต์การขาดหายของเสียงมากกว่าถนนรัชดาภิเษกและถนนสี่ลม เนื่องจากถนนบางนา-ตราดจะมีรัศมีการบริการของสถานีเซลล์มากกว่าถนนรัชดาภิเษกและถนนสี่ลม จึงทำให้สามารถใช้งานเครื่องโทรศัพท์พีซีทีเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงกว่าจึงเกิดจำนวนการข้ามเซลล์ที่มากกว่าทั้งสองถนนจึงมีเปอร์เซ็นต์การขาดหายของเสียงมาก แต่เมื่อพิจารณาที่ความเร็วเดียวกันบริเวณถนนสี่ลมจะมีเปอร์เซ็นต์การขาดหายของเสียงมากกว่าบริเวณถนนรัชดาภิเษกและถนนบางนา-ตราด เนื่องจากเซลล์มีขนาดเล็กจึงมีปริมาณของการข้ามเซลล์สูงกว่าบริเวณถนนรัชดาภิเษกและถนนบางนา-ตราด



## บทที่ 6

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.2 บทสรุป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการแพร่กระจายคลื่นในย่าน 1900 MHz เพื่อสร้างโมเดลการลดทอนตามระยะทางตามรายละเอียดที่เสนอในบทที่ 4 ตามสมการที่ (4.17) เพื่อนำโมเดลที่ได้มาใช้ออกแบบเพื่อหาตำแหน่งเซลล์ในการติดตั้งสถานีเซลล์สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพบพหุคูณคลัสเตอร์จากโมเดลที่นำเสนอจะได้ระยะการติดตั้งสถานีเซลล์ตามสมการที่ (4.20)

ตารางที่ 6.1 ระยะห่างในการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 4 dBi

ความสูงในการติดตั้งสถานีเซลล์ (เมตร)	ระยะห่างในการติดตั้งเซลล์ในแต่ละพื้นที่ (เมตร)					
	แบบปกติ			แบบ 2 แครีเรียร์ต่อพื้นที่		
	เมือง	ชานเมือง	ชนบท	เมือง	ชานเมือง	ชนบท
4.5	434	476	476	217	238	346
7	434	476	476	217	238	346
9	434	476	476	217	238	346
13.5	434	476	476	217	238	346
18	434	476	476	217	238	346

ตารางที่ 6.2 ระยะห่างในการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 7 dBi

ความสูงในการติดตั้งสถานีเซลล์ (เมตร)	ระยะห่างในการติดตั้งเซลล์ในแต่ละพื้นที่ (เมตร)					
	แบบปกติ			แบบ 2 แครีเรียร์ต่อพื้นที่		
	เมือง	ชานเมือง	ชนบท	เมือง	ชานเมือง	ชนบท
4.5	566	622	900	283	311	450
7	478	526	762	239	263	381
9	434	476	695	217	238	346
13.5	370	408	592	185	204	296
18	332	366	530	166	183	265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 ระยะห่างในการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 9 dBi

ความสูงในการติดตั้งสถานีเซลล์ (เมตร)	ระยะห่างในการติดตั้งเซลล์ในแต่ละพื้นที่ (เมตร)					
	แบบปกติ			แบบ 2 แครเรียร์ต่อพื้นที่		
	เมือง	ชานเมือง	ชนบท	เมือง	ชานเมือง	ชนบท
4.5	676	742	1078	338	371	539
7	482	482	768	241	265	384
9	396	396	634	198	218	317
13.5	290	320	464	145	160	232
18	232	256	372	116	128	186

ตารางที่ 6.4 ระยะห่างในการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 4 dBi

ความสูงในการติดตั้งสถานีเซลล์ (เมตร)	ระยะห่างในการติดตั้งเซลล์ในแต่ละพื้นที่ (เมตร)					
	แบบปกติ			แบบ 2 แครเรียร์ต่อพื้นที่		
	เมือง	ชานเมือง	ชนบท	เมือง	ชานเมือง	ชนบท
4.5	178	196	284	89	98	142
7	178	196	284	89	98	142
9	178	196	284	89	98	142
13.5	178	196	284	89	98	142
18	178	196	284	89	98	142

จะได้ระยะห่างในการติดตั้งสถานีเซลล์ตารางที่ 6.1-6.3 และสำหรับพื้นที่ที่มีปริมาณทราฟฟิกสูง จะใช้เซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ ระยะการติดตั้งสถานีเซลล์มีรายละเอียดดังแสดง 6.4-6.6 โดยผู้ให้บริการสามารถเลือกติดตั้งเซลล์ตามสภาพพื้นที่สภาพแวดล้อมและปริมาณทราฟฟิก การทดสอบการใช้งานทั้งการทดสอบที่ความเร็วต่ำโดยการเดินทดสอบ และการทดสอบการใช้งานในรถยนต์เคลื่อนที่ ตามรายละเอียดในบทที่ 5 ที่จุดมีระดับสูงกว่าข้อกำหนดการใช้งานเครื่องโทรศัพท์พีซีที โดยมีเปอร์เซ็นต์การโทรแล้วหลุดไม่เกิน 3 เปอร์เซ็นต์ มีเปอร์เซ็นต์การการขาดหายของสัญญาณเสียงขณะข้ามเซลล์ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.5 ระยะห่างในการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 7 dBi

ความสูงในการติดตั้งสถานีเซลล์ (เมตร)	ระยะห่างในการติดตั้งเซลล์ในแต่ละพื้นที่ (เมตร)					
	แบบปกติ			แบบ 2 แครเรียร์ต่อพื้นที่		
	เมือง	ชานเมือง	ชนบท	เมือง	ชานเมือง	ชนบท
4.5	240	256	372	120	128	186
7	196	216	314	98	108	157
9	178	196	284	89	98	142
13.5	152	164	244	76	82	122
18	136	150	218	68	75	109

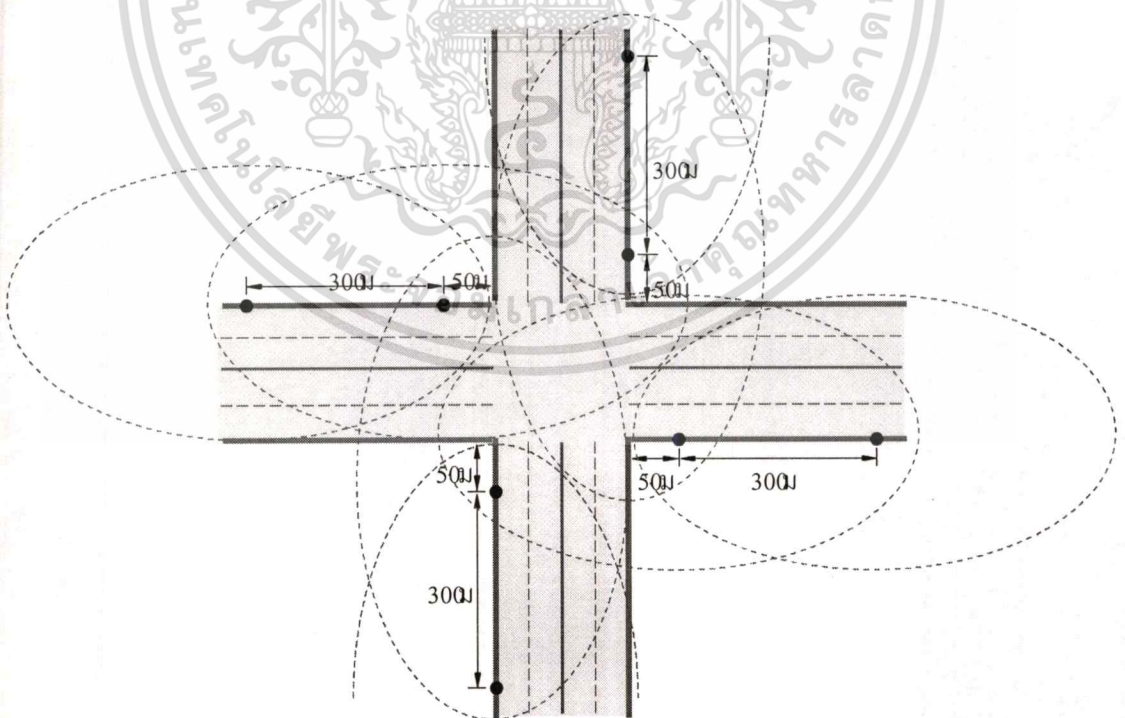
ตารางที่ 6.6 ระยะห่างในการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ เมื่อใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 9 dBi

ความสูงในการติดตั้งสถานีเซลล์ (เมตร)	ระยะห่างในการติดตั้งเซลล์ในแต่ละพื้นที่ (เมตร)					
	แบบปกติ			แบบ 2 แครเรียร์ต่อพื้นที่		
	เมือง	ชานเมือง	ชนบท	เมือง	ชานเมือง	ชนบท
4.5	278	306	444	139	153	222
7	198	208	316	99	109	158
9	164	180	260	82	90	130
13.5	120	132	190	60	66	95
18	96	104	152	48	52	76

## 6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการติดตั้งตำแหน่งในการวางเซลล์ที่เหมาะสมสำหรับให้บริการในพื้นที่สาธารณะของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุบุคคลพีซีที เนื่องมาจากการติดตั้งสถานีเซลล์ในบางพื้นที่นั้น ระยะห่างระหว่างเสาไฟฟ้าจะมีระยะห่างที่ไม่เท่ากัน ทำให้ค่าระยะห่างระหว่างสถานีเซลล์ในบางจุดเกิดคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ได้ทำการออกแบบไว้ สามารถแก้โดยการปรับปรุงตำแหน่ง หรือ เปลี่ยนสายอากาศให้เหมาะสมในการติดตั้งสถานีเซลล์สำหรับใช้งานในพื้นที่จริงนั้น นอกจากรูปแบบการวางเซลล์ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้แล้ว เพื่อให้รูปแบบการวางเซลล์ที่ได้ทำการออกแบบขึ้นมีคุณภาพในการใช้งานที่สูงที่สุด สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงก็คือ

1. ในการติดตั้งสถานีเซลล์ ควรจะทำการติดตั้งสถานีเซลล์ให้อยู่บนฝั่งถนนเดียวกัน เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องของพื้นที่ให้บริการ
2. ในกรณีที่ไม่สามารถติดตั้งสถานีเซลล์ในตำแหน่งที่กำหนดได้ ให้ติดตั้งในตำแหน่งใหม่ที่มีระยะห่างระหว่างสถานีเซลล์ลดลง
3. ไม่ควรติดตั้งสถานีเซลล์ในลักษณะผสม 20 มิลลิวัตต์ และ 200 มิลลิวัตต์ ในบริเวณเดียวกัน เพราะอาจจะทำให้เกิดพื้นที่ที่เป็นจุดบอดหรือจุดอับของสัญญาณขึ้นได้
4. การวางเซลล์ในย่านธุรกิจควรจะใช้สถานีเซลล์ขนาด 20 มิลลิวัตต์ วางในตำแหน่งใกล้สี่แยก เพื่อให้สามารถใช้งานครอบคลุมได้ทั้งถนนหลักและในซอยพร้อมกัน โดยสามารถลดระยะห่างระหว่างสถานีเซลล์ลงมาให้อยู่ในช่วง 180-120 เมตรได้ การวางเซลล์เพื่อเพิ่มปริมาณ ทราฟฟิกของคนเดิน ควรวางเข้าไปในซอยโดยให้ลึกจากปากซอยมากกว่า 100 เมตร
5. การวางเซลล์ในบริเวณสี่แยกต่างๆ ควรวางสถานีเซลล์ขนาดเดียวกับสถานีเซลล์ในถนนเส้นนั้นๆ คือ ทำการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ หรือ 20 มิลลิวัตต์ ใดๆใดอย่างหนึ่งเพียงขนาดเดียว ในบริเวณสี่แยกควรลดระยะห่างระหว่างสถานีเซลล์ลง ตัวอย่างในพื้นที่ชานเมือง ให้ทำการวางเซลล์ใกล้ๆ สี่แยกประมาณ 50 เมตร ทั้ง 4 ด้าน ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ตัวอย่างการวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ บริเวณสี่แยกในเขตพื้นที่ชานเมือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] Jerry D. Gibson, Editor. **The Mobile Communication Handbook**. USA. : CRC Press, Inc. 1996.
- [2] Rifaat A. Dayem. **PCS& Digital Cellular Technologies**. :prentice-Hall,Inc. 1997.
- [3] Cox D. C. "Personal Communication –A Viewpoint" IEEE Communication Magazine. November 1990. pp.8-20
- [4] Bell Communication Research (BellCore) **Comparison of Low Power Wireless Access Systems: PACS PHS and DECT for Public Environment**. 1996.
- [5] TR 056. **DECT System description**. ETSI. July 1993.
- [6] ETR 015. **DECT reference document** ETSI, March 1991.
- [7] Ministry of Posts & Telecommunications (MPT), Japan **Personal Handy-phone System Guidebook**. 1995.
- [8] Nippon Telegraph and Telephone Corporation (NTT) **Personal Handy-phone and the VI&P Concept**. 1995.
- [9] Moungnoul P., Tangtisanon P. and Paungma T. "PCT - The New Service of Digital Wireless Communication in Thailand" Proc. 16<sup>th</sup>(1998) International Telecommunication Symposium (ITS'98), Taipei, Taiwan, R.O.C., Vol.II, September 1998., pp.51-55.
- [10] Moungnoul P., Sukkasem M. and Paungma T. "Personal Communication Telephone new system for digital wireless communication in Thailand" IEICE Trans. on Electronic. Vol.E82-C, No.7.,July.1999., pp.1280-1286.
- [11] Association of Radio Industries and Businesses (ARIB) **Personal Handy- Phone System ARIB Standard**. Version 3.2, February. 1999.
- [12] Jose M. Hernando, F. Perez-Fontan. **Introduction to Mobile Communications Engineering**. Boston London : Artech House Publishers. 1999.
- [13] Moungnoul P., Namuang N., Sukkasem M. and T. Paungma "The computation and experiment results for cell coverage region for a PCT system" Proc. 16<sup>th</sup>(1998) International Telecommunication Symposium(ITS'98), Taipei, Taiwan, R.O.C, Vol.II., September, 1998., pp.57-62.

- [14] 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 Systems(ISPACS'98), Melbourne, Australia, Vol.2., November1998., pp.645-649.
- [15] William C.Y. Lee. **Mobile Cellular Telecommunication System.** :McGraw Hill Inc. 1989.
- [16] Okumura Y., Ohmori E., Kawano T. and Fukuda K. "Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio service," Review of Electrical Communication Laboratory, Vol.16, No.9-10, September-October 1968., pp. 825-873.
- [17] Hata M. "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services" IEEE Trans. on Vehicular Tech., Vol. 29, August 1980. pp. 317-325.
- [18] Ibrahim M.F. and Parsons J.D. "Signal Strength Prediction in Built-Up Areas, Part 1 : Median Signal Strength." IEE Proc., Vol 130, Part F, NO.5 1983, pp. 377-384.
- [19] Parson J.D. **The Mobile Radio Propagation Channel.** London : Pentech Press, 1992.
- [20] William C.Y. Lee. **Mobile Communication Design Fundamentals.** New York :John Wiley. 1993.
- [21] EURO-COST321. "Urban Transmission Loss Models for Small-Cell and Micro-Cell Mobile Radio in the 900 and 1800 MHz Bands." Propagation Model Report No. COST 231 TD(90) 119, revision 1., Sep. 1991
- [22] Telecom training Department-TT&D, "PCT Network Introduction," Version 3, November 26, 1997.
- [23] Helgert H. J. **Integrated Services Digital Network** : Addison-Wesley. 1991
- [24] CCITT. **Recommendation I series** Geneva : ITU. 1989
- [25] CCITT **Recommendation Q.700 series** Geneva : ITU 1989
- [26] ITU-T **Recommendation G726, 40, 32, 16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM)** 1990
- [27] Sampei S. **Application of digital wireless technologies to global wireless communications** : Prentice Hall. 1997.
- [28] Fleury B. H.and Leuthold P. E. "Radiowave Propagation in Mobile Communications: An Overview of European Research" IEEE Mag., Vol 34, No. 2, FEB. 1996. pp 70-81.
- [29] Glassner A. S. **An Introduction to Ray Tracing** San Diego : Academic Press. 1989.
- [30] Smith C. **Practical Cellular & PCS Design** :McGraw-Hill. 1998.

- [31] McGeehan J. P. and Griffiths “Normalised Prediction Chart for Mobile Radio Reception.” Proc. 4<sup>th</sup> International Conf. On Antenna and Propagation, IEE Conference Publication, No 248, 1985, pp.395-399
- [32] Atefi A. and Parsons J.D. “Urban Radio Propagation in Mobile Radio Frequency Bands.” Proc. Comms 86, Birmingham , UK, IEE Conference Publication No.262, pp.13-18.
- [33] Epstein J. and Peterson D. W. “An Experimental Study of wave propagation at 850 MHz.” Proc. IRE, Vol.41, No.5, 1953, pp.595-611.
- [34] Ikegami F. S., Yoshida T. and Umehira M. ‘Propagation Factors Controlling Mean Field Strength on Urban Streets.’ IEEE Trans. On Antenna and Propagation, Vol. 32, Dec. 1984, pp.822-829.
- [35] Walfisch J. and Bertoni H. L. “A theoretical Model of UHF Propagation Factors Controlling Mean Field Strength on Urban Environments.” IEEE Trans. On Antenna and Propagation, Vol. 36, Oct. 1988, pp.1788-1796.
- [36] Xia H. H. and Bertoni H. L. “ Diffraction of Cylindrical and Plane wave by an Array of Absorbing Half Screens.” IEEE Trans. On Antenna and Propagation, Vol. 40, No. 2, Feb 1992, pp.170-177.
- [37] Maciel L. R., Bertoni H. L. and Xia H. H. “Unified Approach to Prediction of Propagation Over Buildings for All Ranges Base Antenna Height.” IEEE Vehicular Tech., Vol. 42, No. 1, Feb 1993, pp. 41-45
- [38] Pattanatadapong T., Leangwongsun C., Sukkasem M and Paungma T. “Solving Fading Effect in the PCT System by Utilizing Fading Factor in Loss Equation.” Proc. 1<sup>st</sup> Workshop on ITS Telecommunication (ITST2000), Kanagawa, Japan, pp.91-95.
- [39] Joseph S., Yahamat R. S., Michael A., and Gregory J., “Evaluation of Personal Communications Dual-Antenna Handset Diversity Performance.” IEEE Tran. on Vehi. Tech., Vol.47, No.3, August 1998, pp. 737-746.
- [40] NEC Corporation, “PHS Cell Station Instruction Manual”, 1<sup>st</sup> Edition, December 1996.
- [41] Lee W. C. Y. “Lee’s Model” IEEE Tran. on Vehi. Tech., Feb. 1998, pp. 68-70
- [42] Theodore S. Rappaport. **Wireless Communications Principles and Practice** New Jersey : Prentice Hall PTR. 1996.

## ประวัติผู้เขียน

นายพิเชฐ ม่วงนวล เกิดเมื่อวันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2511 ที่จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษา  
 อดิศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีโทรคมนาคม และวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา  
 วิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปี 2534 และ  
 2539 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาเอก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
 เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปี 2540

### ผลงานที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ที่ได้รับการตีพิมพ์

1. *Moungnoul P., Tangtisanon P. and Paungma T., "PCT - The New Service of Digital Wireless Communication in Thailand"* 16<sup>th</sup>(1998) International Telecommunication Symposium(ITS'98), Taipei, Taiwan, R.O.C., Vol.II, September 15-17, 1998. , pp.51-55.
2. *Moungnoul P., Namuang N., Sukkasem M. and Paungma T., "The computation and experiment results for cell coverage region for a PCT system"* 16<sup>th</sup>(1998) International Telecommunication Symposium(ITS'98), Taipei, Taiwan, R.O.C., Vol.II, September 15-17,1998., pp.57-62.
3. *Moungnoul P., Tangtisanon P. and Paungma T., "Cell Station Design for Personal Communication Telephone"* The 6<sup>th</sup> IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing and Communication Systems(ISPACS'98), Melbourne, Australia, Vol.2, November4-6 ,1998, pp.645-649
4. *Moungnoul P., Sukkasem M. and Paungma T., "Personal Communication Telephone new system for digital wireless communication in Thailand"* IEICE Trans. on Electronics, July, 1999, pp. 1280-1286
5. Puangngoen S. , *Moungnoul P. , Sukkasem S. , Paungma T. , "Prediction Model for Intra Building Cell station Design for Personal Communication Telephone(PCT) System in 1.9 GHz Band,"* 1999 IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems", Puket, Thailand, 8-10 December 1999, pp.243 -246