

การวิเคราะห์การจางหายของสัญญาณโดยใช้การแจกแจงทางสถิติ

ANALYSIS OF FADING SIGNAL USING STATISTICAL DISTRIBUTION



สาริต ชามูอุปการ  
SATT CHANOUPRAGAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-010-320

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

การวิเคราะห์การจางหายของสัญญาณโดยใช้การแจกแจงทางสถิติ

ANALYSIS OF FADING SIGNAL USING STATISTICAL DISTRIBUTION



สาริต ชาญอุประการ  
SATIT CHANOUPRAGAN

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 82877  
วัน,เดือน,ปี 25 ก.ค. 2551

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-010-320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ANALYSIS OF FADING SIGNAL USING STATISTICAL DISTRIBUTION



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

2008

KMITL-2008-EN-M-010-320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**COPYRIGHT 2008**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดที่เห็นาเบ้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์การจางหายของสัญญาณ โดยใช้การแจกแจงทางสถิติ  
Analysis of Fading Signal using Statistical Distribution  
นักศึกษา นายสาธิต ชาญอุประการ  
รหัสประจำตัว 46061220  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.สมยศ	จุมณะปิยะ	
รศ.ดร.กอบชัย	เดชหาญ	
รศ.ดร.สมภพ	ภูริวิกรัยพงศ์	
ดร.มนตรี	คำเงิน	
ผศ.ดร.พิเชฐ	ม่วงนวล	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 26 พฤษภาคม 2551 เวลา 14.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 1

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.รวีวรรณ ชินะตระกูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....30.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ.....2551.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์การจางหายของสัญญาณ โดยการใช้การแจกแจงทางสถิติ
นักศึกษา	นายสาริต ชาญอุประการ
รหัสประจำตัว	46061220
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล

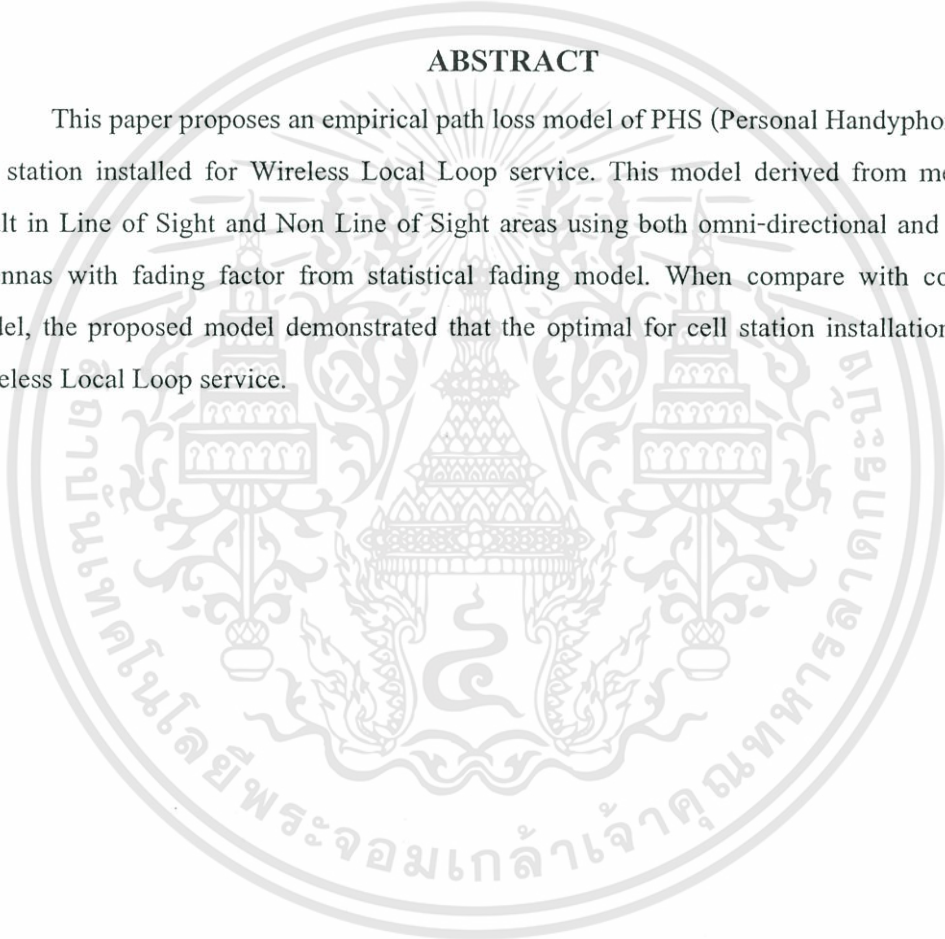
### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอการวิเคราะห์ทางสถิติของสัญญาณเฟดดิ้งที่เกิดในระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (Personal Handyphone System) ที่ถูกติดตั้งเพื่อใช้ในการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ไร้สาย โดยทำการวัดสัญญาณเพื่อเก็บข้อมูลการแกว่งของสัญญาณที่เครื่องรับที่เกิดจากการแพร่กระจายคลื่นในเส้นทาง Line of Sight และ Non Line of Sight โดยใช้สายอากาศทั้งแบบ Omni-directional และ Directional จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการวัดมาหาการแจกแจงข้อมูลทางสถิติตามแบบจำลองการจางหายของสัญญาณและนำไปเปรียบเทียบกับกรแจกแจงข้อมูลทางสถิติตามแบบจำลองแบบมาตรฐาน เพื่อนำแบบจำลองการแจกแจงทางสถิติของการจางหายของสัญญาณที่ได้ที่ดีที่สุดไปใช้ในการออกแบบการติดตั้งสถานีฐานของระบบสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ไร้สาย

<b>Thesis Title</b>	Analysis of Fading Signal using Statistical Distribution
<b>Student</b>	Mr. Satit Chanoupragan
<b>Student ID.</b>	46061220
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Program</b>	Telecommunications Engineering
<b>Year</b>	2008
<b>Thesis Advisor</b>	Assist. Prof. Dr. Phichet Moungnoul

### ABSTRACT

This paper proposes an empirical path loss model of PHS (Personal Handyphone System) cell station installed for Wireless Local Loop service. This model derived from measurement result in Line of Sight and Non Line of Sight areas using both omni-directional and directional antennas with fading factor from statistical fading model. When compare with conventional model, the proposed model demonstrated that the optimal for cell station installation design in Wireless Local Loop service.



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาในการเรียนและการทำวิทยานิพนธ์ จาก ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ซึ่งข้าพเจ้าทราบดีถึงความอนุเคราะห์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สาริต ชาญอุประการ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.5 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2. ความรู้พื้นฐานระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล(PHS)และไวร์เลส โลคัลลูป.....	6
2.1 ระบบไวร์เลส โลคัลลูป (Wireless local loop Systems) .....	6
2.1.1 เทคโนโลยีระบบไวร์เลส โลคัลลูป (WLL Technologies) .....	6
2.1.1.1 DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunication) .....	8
2.1.1.2 PHS (Personal Handy phone System) .....	8
2.1.1.3 PACS (Personal Access Communication Systems) .....	8
2.1.1.4 เทคโนโลยีเซลลูลาร์ .....	10
2.1.1.5 เทคโนโลยีไร้สาย (Cordless Technologies) .....	11
2.1.1.6 เทคโนโลยีไมโครเวฟ .....	12
2.1.2 ระบบไวร์เลส โลคัลลูป และสถาปัตยกรรมของระบบ .....	13
2.1.3 เทคโนโลยีของระบบวิทยุที่ใช้.....	15
2.1.4 โครงสร้างของสถานีฐานและสถานีลูกข่าย.....	16
2.1.5 การใช้การเชื่อมต่อแบบไร้สาย สำหรับโครงข่ายโทรศัพท์ .....	19
2.2 โครงข่ายโทรศัพท์ PHS.....	21
2.2.1 โครงสร้างข่ายโทรศัพท์ PHS.....	22

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.2 การใช้งานแถบความถี่ในระบบโทรศัพท์ PHS .....	24
2.2.3 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงและการมอดูเลตพัลส์ของสัญญาณ.....	25
บทที่ 3. ทฤษฎีการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น .....	26
3.1 กลไกพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น .....	26
3.1.1 การสะท้อนของคลื่น .....	26
3.1.2 การเลี้ยวเบนของคลื่น .....	29
3.1.3 การกระเจิงของคลื่น .....	31
3.2 หลักการแพร่กระจายคลื่น .....	32
3.3 แบบจำลองของการแพร่กระจายคลื่น .....	35
3.4 แบบจำลองการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นของเซลล์ .....	36
3.4.1 แบบจำลองของ Okumura .....	36
3.4.2 แบบจำลองของ Okumura-Hata .....	39
3.4.3 แบบจำลอง COST 231-Hata .....	39
3.4.4 แบบจำลองของ Lee .....	40
3.4.5 แบบจำลองของ McGeehan and Griffiths .....	40
3.4.6 แบบจำลอง Atefi และ Pason .....	41
3.4.7 แบบจำลอง Ikegami .....	41
3.4.8 แบบจำลอง Walfisch และ Bertoni .....	42
3.4.9 แบบจำลอง Xia และ Bertoni .....	43
3.4.10 แบบจำลอง COST-231-Walfisch-Ikegami Model .....	44
3.5 รูปแบบของสัญญาณรับ-ส่งระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ .....	45
3.5.1 การจางหายระยะยาว .....	46
3.5.2 การจางหายระยะสั้น .....	47
3.5.3 การแจกแจงแบบเรย์ลีย์และแบบรีเซียน .....	47
3.5.3.1 การแจกแจงแบบเรย์ลีย์ .....	48
3.5.3.2 การแจกแจงแบบรีเซียน .....	50

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4. การออกแบบเพื่อวางตำแหน่งเซลล์ของระบบการสื่อสารไร้สาย ส่วนบุคคลPHS และการ แจกแจงเชิงสถิติ.....	52
4.1 การหาตำแหน่งเพื่อวางเซลล์ของระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล PHS.....	52
4.1.1 สมการการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ .....	54
4.2 แบบจำลองการแจกแจงเชิงสถิติ (Fading Statistical Distribution Model).....	58
4.2.1 การแจกแจงแบบเกาส์เซียน (Gaussian Distribution).....	58
4.2.2 การแจกแจงแบบเรย์ลีย์ (Rayleigh Distribution) .....	59
4.2.3 การแจกแจงแบบรีเซียน (Rician Distribution) .....	59
4.2.4 การแจกแจงแบบไคสแควร์ (Chi-square Distribution).....	60
4.3 การจางหายของสัญญาณในระบบการสื่อสาร ไร้สายส่วนบุคคลPHS .....	60
4.3.1 การวิเคราะห์การจางหายในเชิงสถิติ .....	61
4.3.2 การหาค่าเฟดดิ้งแฟกเตอร์.....	66
บทที่ 5. ผลการวิเคราะห์การวัดทดสอบและการติดตั้งเซลล์.....	68
5.1 การติดตั้งเซลล์และการทดสอบผลการใช้งาน.....	68
5.1.1 การทดสอบในพื้นที่ชานเมือง.....	69
5.1.2 การทดสอบในพื้นที่ชนบท.....	71
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย .....	74
6.1 บทสรุป.....	74
เอกสารอ้างอิง.....	76
ภาคผนวก	
การเผยแพร่งานวิจัย .....	78
ประวัติผู้เขียน.....	86

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ชนิดของเซลล์ในระบบสื่อสารไร้สาย.....	1
1.2 การเกิดมลพิษทางฟีดคิง .....	3
1.3 การเกิดการจางหายของสัญญาณที่รับได้.....	4
2.1 รูปแบบเทคโนโลยีเซลลูลาร์.....	11
2.2 สถาปัตยกรรมระบบไวร์เลสโลคัลลูป (WLL System) .....	14
2.3 โครงสร้างสถานีลูกข่าย (Subscriber station) .....	17
2.4 สถานีฐาน (Radio Base station) .....	18
2.5 การเชื่อมโยงระหว่างสถานีลูกข่ายและตัวเครื่องโทรศัพท์ .....	18
2.6 การส่งสัญญาณจากสถานีฐานไปยังบ้านผู้เช่าแต่ละรายที่แยกกระจายจากกัน .....	19
2.7 การใช้ระบบคู่สายโทรศัพท์แบบไร้สายเชื่อมโยงไปยังผู้เช่า .....	20
2.8 ลักษณะการบริการของโทรศัพท์ PHS .....	21
2.9 โครงข่ายระบบโทรศัพท์ PHS .....	22
2.10 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด .....	24
2.11 การจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD .....	25
3.1 การสะท้อนของคลื่น .....	26
3.2 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก .....	28
3.3 หลักการของ Huygen .....	30
3.4 การเลี้ยวเบนของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง .....	30
3.5 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen .....	33
3.6 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิก .....	33
3.7 ค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการลดทอนสัญญาณ $A(f,d)$ .....	37
3.8 ค่าอัตราการขยายกำลังจากผลความสูงของสายอากาศส่ง .....	37
3.9 ค่าอัตราการขยายกำลังจากผลความสูงของสายอากาศรับ .....	38
3.10 ค่าแฟกเตอร์ $G_{(AREA)}$ ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่าง ๆ ของ $A(f,d)$ .....	38
3.11 สภาพแวดล้อมและทิศทางของคลื่นของแบบจำลอง Ikegami .....	41
3.12 สภาพแวดล้อมและทิศทางของคลื่น .....	43
3.13 ตัวอย่างสัญญาณการจางหายของคลื่นวิทยุ .....	46
3.14 มลพิษทางฟีดคิง .....	47

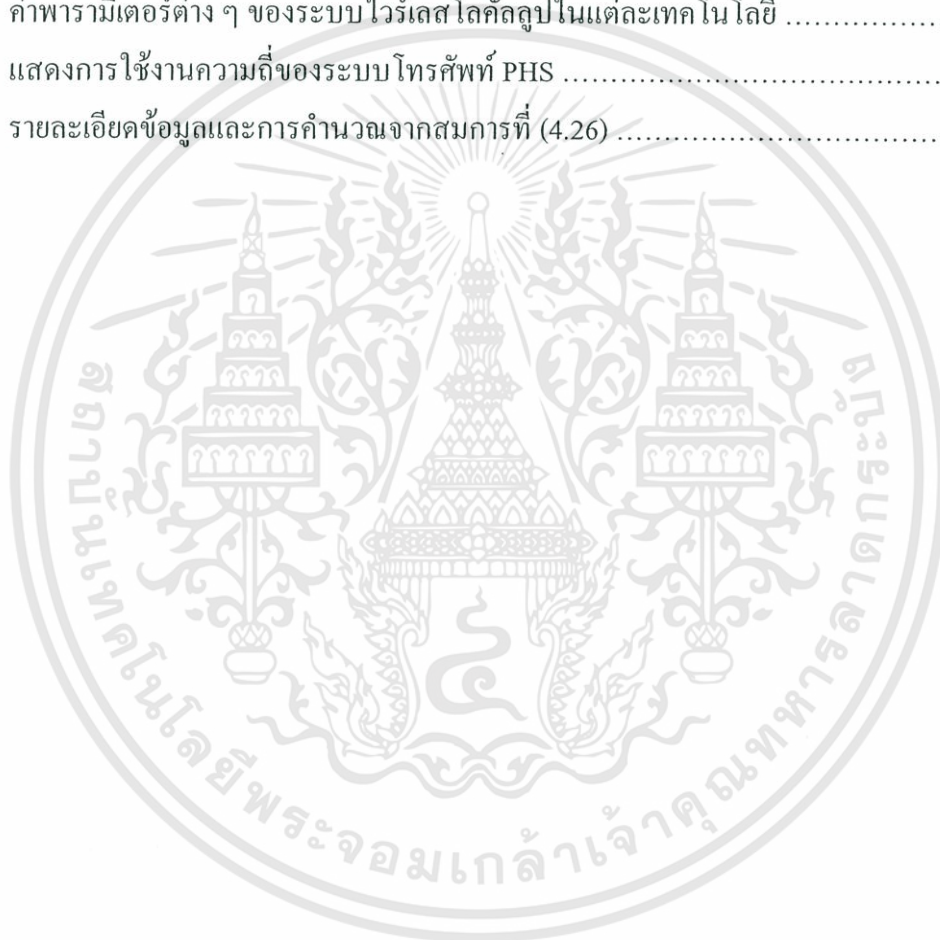
## สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

3.15 เอนเวโลปของสัญญาณที่จางหายแบบเรย์ลีย์ที่ความถี่ 900MHz .....	48
3.16 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบเรย์ลีย์.....	49
3.17 การแจกแจงของการจางหายทั้ง 3 พื้นที่ ที่ได้จากการวัด รวมทั้งการแจกแจงแบบเรย์ลีย์ รีเซียน และล็อกเนอร์มอล .....	49
3.18 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบรีเซียน โดยที่ $K = -\infty$ (เรย์ลีย์) และ $K= 6$ dB สำหรับ $K \geq 1$ ค่า PDF จะใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยเกาส์เซียน .....	51
4.1 เครื่องมือวัดค่าระดับสัญญาณที่ใช้ในการวัด .....	52
4.2 รูปพื้นที่และการติดตั้งเซลล์ทดสอบในรูปแบบเพชร.....	53
4.3 รูประดับสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับกรคำนวณโดยโมเดล COST 231-Hata .....	53
4.4 ผลที่ได้จากการวัดกับเส้นกราฟที่ลากที่ค่าเฉลี่ยของผลการวัดด้วยสายอากาศแบบ Directional Antenna and Omni Antenna .....	55
4.5 ค่าการลดทอนจากความถี่ .....	56
4.6 ผลการวัดทดสอบเซลล์ เมื่อเซลล์ใช้สายอากาศอัตรายาย 10 dBi .....	57
4.7 การหาค่ามัลติพาทเฟดดิ้ง .....	61
4.8 (a) สัญญาณที่วัดได้ (b) สัญญาณที่ทำการนอมอลไลซ์ .....	62
4.9 เปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแต่ละแบบในเขตพื้นที่ชานเมือง.....	63
4.10 เปรียบเทียบฟังก์ชันแจกแจงสะสมแต่ละแบบกับสัญญาณที่ได้รับในเขตพื้นที่ชานเมือง .....	64
4.11 เปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแต่ละแบบในเขตพื้นที่ชนบท .....	65
4.12 เปรียบเทียบฟังก์ชันแจกแจงสะสมแต่ละแบบกับสัญญาณที่ได้รับในเขตพื้นที่ชนบท .....	65
5.1 ระยะเวลาของเซลล์ในพื้นที่ต่าง ๆ.....	68
5.2 ผลการทดสอบบริเวณถนนร่มเกล้าเมื่อวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ห่างกัน 800 เมตร.....	70
5.3 ผลการเปรียบเทียบผลจากการคำนวณกับผลที่ได้จากการวัดบริเวณถนนร่มเกล้า.....	70
5.4 ผลการทดสอบบริเวณถนนฉลองกรุง เมื่อวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ห่างกัน 1050 เมตร.....	71
5.5 ผลการเปรียบเทียบผลจากการคำนวณกับผลที่ได้จากการวัดบริเวณถนนฉลองกรุง.....	71
5.6 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองแบบ COST-231 Hata กับ แบบจำลองที่ได้ออกแบบ.....	72
5.7 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองที่ออกแบบในพื้นที่ร่มเกล้าและท่าลูกกา .....	73

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขนาดของพื้นที่ครอบคลุมของระบบ โลกัลดรูปไร้สาย .....	7
2.2 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ DECT, PHS และ PACS .....	9
2.3 การเปรียบเทียบเทคโนโลยี DECT, PHS และ CT – 2 ในระบบไวร์เลสโลกัลดรูป .....	11
2.4 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีในระบบไวร์เลสโลกัลดรูป .....	12
2.5 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบไวร์เลสโลกัลดรูปในแต่ละเทคโนโลยี .....	14
2.6 แสดงการใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์ PHS .....	23
4.1 รายละเอียดข้อมูลและการคำนวณจากสมการที่ (4.26) .....	66



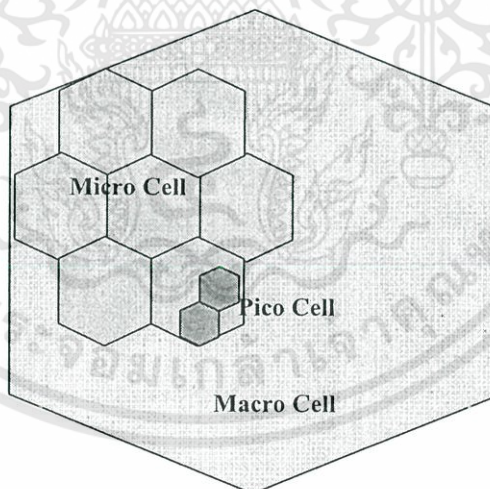
# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยในปัจจุบันมีความต้องการในการใช้งานบริการ โทรศัพท์พื้นฐานมากขึ้น ไม่จำกัด เฉพาะในพื้นที่ตัวเมืองเท่านั้นยังรวมไปถึงในพื้นที่ชานเมืองและพื้นที่ชนบทอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ หลีกเลียงไม่ได้ที่จำเป็นต้องมีการตอบสนองความต้องการใช้งานด้วยการขยายพื้นที่ให้บริการกว้างและ ครอบคลุมพื้นที่มากขึ้น [1] ทั้งนี้ปัญหาหนึ่งของการให้บริการ โทรศัพท์พื้นฐานคือระยะทางของ พื้นที่ให้บริการมีระยะทางไกล โดยพื้นฐานแล้วเราสามารถแบ่งรัศมีของการให้บริการหรือการ ติดตั้งขนาดของสถานีฐาน (Cell Site) ออกเป็น

- มาโครเซลล์ (Macro Cell) ที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ รัศมี 1 – 30 กิโลเมตร
- ไมโครเซลล์ (Micro Cell) ที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดกลาง รัศมี 200 - 2000 เมตร
- พิโคเซลล์ (Pico Cell) ที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดเล็ก 4 – 200 เมตร ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ชนิดของเซลล์ในระบบสื่อสารไร้สาย

เนื่องจากการแพร่กระจายของคลื่นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อระบบคือ การจางหาย (Fading) ของสัญญาณ ซึ่งจะมีผลกระทบอย่างมากต่อเซลล์ที่มีขนาดเล็ก เราจึงได้ทำการศึกษา ผลกระทบของการจางหายนี้ โดยศึกษาปัจจัยและตัวแปรของการเกิด พาร์ทลอส (Path Loss) และ การจางหาย ซึ่งระบบการสื่อสารไร้สายที่เราเลือกนำมาวิเคราะห์คือ ระบบไวร์เลส ลอคัลลูป (Wireless Local Loop: WLL) เป็นระบบที่มีการเชื่อมต่อระหว่างผู้ใช้บริการ โทรศัพท์ กับเครือข่าย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยการเชื่อมต่อแบบไร้สาย แทนการเชื่อมต่อแบบสายเคเบิล (Wireless Link) โดยใช้สถานีฐาน (Cell Station) ติดตั้งกลางหมู่บ้าน และอุปกรณ์เครื่องลูกข่ายแบบติดตั้งประจำที่ (Fixed Terminal) ติดตั้งแต่ละบ้าน สำหรับการเชื่อมต่อแบบไร้สาย อุปกรณ์สถานีฐาน 1 ชุด ที่ใช้ในระบบสามารถให้บริการครอบคลุมพื้นที่ในหนึ่งหมู่บ้าน สนับสนุนการให้บริการโทรศัพท์พื้นฐานในพื้นที่ห่างไกล พื้นที่ทุกเงินและพื้นที่ที่มีประชาชนอาศัยอยู่ไม่หนาแน่น เมื่อเปรียบเทียบกับ การติดตั้งโครงข่ายโทรศัพท์แบบใช้สาย (Wireline) หรือแบบ copper drop wire การติดตั้งระบบไวร์เลส โลคัล ลูป สามารถประหยัดต้นทุนและเวลาอันเนื่องมาจากการในส่วนการติดตั้งโครงข่าย นอกจากนี้การเพิ่มจำนวนคู่สายการให้บริการในแต่ละพื้นที่ยังทำได้สะดวกและรวดเร็ว ไม่จำเป็นต้องวางแผนการใช้งานเป็นเวลาล่วงหน้า 5 - 10 ปี เช่น ในกรณีของโครงข่ายโทรศัพท์แบบใช้สาย

ข้อดี เนื่องจากค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ในการลงทุนวางเคเบิลไม่ว่าจะเป็นสายทองแดง โคแอกเซียล (Coaxial) หรือไฟเบอร์ (Fiber) ค่อนข้างมาก การใช้ระบบไวร์เลส โลคัล ลูป ได้เปรียบกว่า ช่วยประหยัดเวลาและลดค่าใช้จ่ายได้มาก

ข้อเสีย เมื่อมีการเปลี่ยนสถานที่จากในเมืองมายังชานเมืองหรือชนบท ไม่มีระบบใดเลยที่จะสอดคล้องกับความต้องการของ ไวร์เลส โลคัล ลูป ได้ทั้งหมด ได้ทุกสถานการณ์ เนื่องจากไวร์เลส โลคัล ลูป คลื่นวิทยุเป็นตัวกลางในการติดต่อซึ่งอาจทำให้เกิดคลื่นแทรกหรือข้อมูลที่ส่งไปอาจเกิดความคลาดเคลื่อนซึ่งต่างกับการใช้สายไฟเบอร์ออปติกที่มีการคลาดเคลื่อนของข้อมูลน้อยกว่า ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของไวร์เลส โลคัล ลูปคือ เมื่อโครงข่ายหลักของไวร์เลส โลคัล ลูปเกิดขัดข้องก็อาจทำให้ผู้ใช้บริการไม่สามารถใช้บริการได้ตามไปด้วย

ระบบไวร์เลส โลคัล ลูปที่เราเลือกใช้คือ PHS (Personal Handy phone System) เป็นเทคโนโลยีมาตรฐานญี่ปุ่นที่มีใช้งานในประเทศไทย สำหรับการออกแบบแบบจำลองสำหรับการติดตั้งสถานีฐานเพื่อรับส่งสัญญาณนั้น การเกิดการจางหายเป็นตัวแปรสำคัญของการหาพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์เราจึงจำเป็นต้องหาค่าความแน่นอนหรือรูปแบบของการเกิดการจางหายของพื้นที่นั้นๆ สำหรับการติดตั้งสถานีฐานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งวิธีการในการหารูปแบบการจางหายเรามักทำการวัดทางสถิติเพื่อหาค่าการแจกแจงของการจางหาย (Fading Statistical Distribution) เพื่อการหาค่าการลดทอนของสัญญาณ โดยการแจกแจงของข้อมูลนั้นมีรูปแบบหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น การแจกแจงแบบเรย์เลย์ (Rayleigh Distribution) หรือ การแจกแจงแบบรีเซียน (Rician Distribution) เป็นต้น ซึ่งเราจะใช้วิธีการ เปรียบเทียบดูแนวโน้มของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Distribution Function) และฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Commulative Distribution Function) เพื่อหาความเที่ยงตรงในการหาค่าการลดทอน จะขึ้นอยู่กับ การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบอย่างถูกต้องได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ความสูงและจำนวนของสิ่งก่อสร้าง ฯลฯ ในเขตพื้นที่ตัวเมือง สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ จะมีผลอย่างมากต่อการแพร่กระจาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นของสัญญาณ ได้มีกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้พยายามหาลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นโดยวิธีการทำนาย (Prediction Techniques) ที่จะทำการหาแบบจำลองในการแพร่กระจายของคลื่นเทียบกับระดับของสัญญาณที่ใช้งานจริง โดยจะทำการศึกษาจากหลาย ๆ พื้นที่ ที่มีเทคนิคในการหาที่แตกต่างกันไปในแต่ละสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ค่าที่ได้จากวิธีการทำนายการแพร่กระจายของคลื่น จะเป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญมากในการวางแผนโครงข่ายระบบโทรศัพท์ไร้สาย ก่อนที่จะมีการติดตั้งระบบใช้งานจริงในพื้นที่

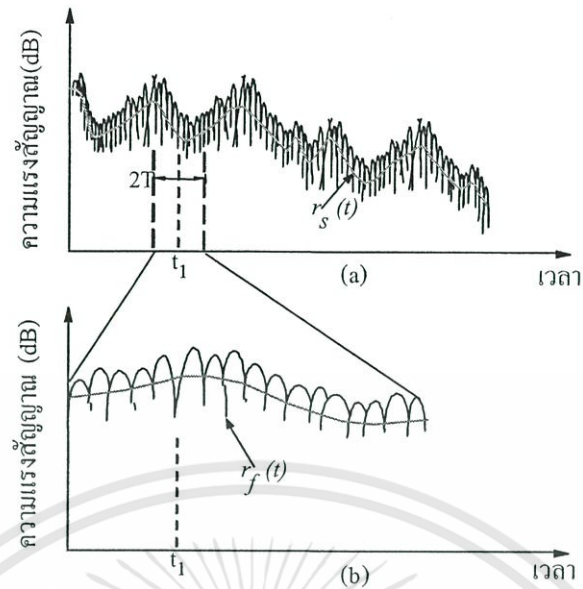
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการเกิดการจางหายในเครือข่าย PHS ด้วยการใช่วิธีการทางสถิติ และทดสอบด้วยการออกแบบแบบจำลองในการลดทอนของคลื่นในพื้นที่นั้น



การจางหาย หมายถึง การที่สัญญาณถูกลดทอนลงไปทำให้มีความแรงสัญญาณอ่อนลง ถูกแบ่งออกเป็นสองชนิดด้วยกันคือ แฟลทเฟดดิ้ง (Flat Fading) โดยจะไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ และ ฟรีควเอนซีซีเล็กเฟดดิ้ง (Frequency Select Fading) ทั้งสองอย่างไม่สามารถจะทำนายได้แน่นอน เพราะเกิดขึ้นจากเงื่อนไขของบรรยากาศขณะนั้นจากสภาพอากาศและภูมิประเทศบางแบบก็ทำให้เกิดการจางหายมากกว่าธรรมดา การจางหายเป็นปัญหาที่พบในการส่งสัญญาณ ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

- 1 พาทลอส (Path Loss) เป็นการลดทอนสัญญาณที่กำลังส่งของสัญญาณจะลดลงอย่างคงที่ตามระยะทางในการส่งสัญญาณ
- 2 ชาโดวอิ้ง (Shadowing) มีอีกชื่อหนึ่งว่า Lognormal Fading คือการลดทอนของสัญญาณเนื่องมาจากสิ่งกีดขวาง เช่น ตึก ต้นไม้ เป็นต้น
- 3 เรย์เลย์เฟดดิ้ง (Rayleigh Fading) หรือ มัลติพาทเฟดดิ้ง (Multipath Fading) คือการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของระดับสัญญาณอย่างทันทีทันใด เนื่องมาจากการแทรกสอดระหว่างคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนที่มาถึงโทรศัพท์เคลื่อนที่ ลักษณะสัญญาณที่เกิดจาก เรย์เลย์เฟดดิ้งจะขึ้นอยู่กับระยะเวลา และความถี่ของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 การจางหายของสัญญาณที่รับได้ (a) การจางหายช่วงยาว (b) การจางหายช่วงสั้น

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการศึกษาเพื่อหาแบบจำลองของการจางหายของช่องสัญญาณที่เหมาะสมและใกล้เคียงที่สุดของแต่ละพื้นที่ที่แตกต่างกัน อาทิเช่น พื้นที่ชานเมือง พื้นที่ชนบท เป็นต้น โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการวัดหลาย ๆ ครั้งมาใช้ในการสร้างแบบจำลองที่ได้จากการวัด (Empirical model) ซึ่งถือว่าการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดสัญญาณแล้วนำไปวิเคราะห์เชิงสถิติซึ่งถือว่าเป็นวิธีที่ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องนำข้อมูลเกี่ยวกับสถานะแวดล้อมในพื้นที่เหล่านั้นมาเกี่ยวข้องแต่อย่างใด เพื่อที่จะนำแบบจำลองดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณออกแบบการติดตั้งสถานีฐานของระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลที่นำไปประยุกต์ใช้ในระบบไวร์เลสโลคัลลูปในแต่ละพื้นที่ดังกล่าว ให้ได้ประสิทธิภาพและเหมาะสมสูงสุดต่อไป

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการส่งและรับคลื่นของเครื่องส่งของโทรศัพท์มือถือและสถานีฐานนั้นคือสถานะแวดล้อมดังเช่น สถานที่โล่ง ดึก หรือ ต้นไม้ของพื้นที่ต่าง ๆ เช่น พื้นที่ชนบท พื้นที่ชานเมือง พื้นที่เมือง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะมีผลให้การส่งคลื่นมีการสะท้อน แทรกสอด จางหาย ในแต่ละพื้นที่แตกต่างกันออกไป สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ย่อมจะมีผลทำให้ค่าความสูญเสียของการเดินทางของคลื่นต่างกันออกไป ซึ่งมีปัจจัยนี้เองเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบและติดตั้งสถานีฐานของระบบไวร์เลสโลคัลลูป

#### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ทำการวัดค่าการกระจายของคลื่นในสถานที่ขานเมืองและชนบท และนำไปทำการคำนวณเปรียบเทียบหาสมการแบบจำลองของช่องสัญญาณการจางหายของสถานที่ดังกล่าว จากนั้นนำสมการแบบจำลองของช่องสัญญาณการจางหายที่ได้ไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองของช่องสัญญาณการจางหายแบบมาตรฐานคือ COST231-Hata[13]

#### 1.5 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย และรายละเอียดในวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (PHS) และไวร์เลสโลคัลลูป

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีการแพร่กระจายคลื่น

บทที่ 4 การออกแบบเพื่อวางตำแหน่งเซลล์ของไวร์เลสโลคัลลูปโดยใช้ PHS และการแจกแจงเชิงสถิติ

บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์การวัดทดสอบ

บทที่ 6 สรุปผลการทำงานวิจัย

## บทที่ 2

# ความรู้พื้นฐานระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล PHS และไร้เลสโลคัลลูป

### 2.1 ระบบไร้เลสลูปไร้สาย (Wireless Local Loop System)

นับตั้งแต่เกิดระบบโทรศัพท์ที่ขึ้นมาบนโลกนี้ สายทองแดงกลายเป็นของควมคุ้มมาด้วย ในการใช้เป็นตัวกลาง หรือโลคัลลูป ระหว่างผู้ใช้บริการโทรศัพท์กับชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่น (Local Exchange) ซึ่งปัจจุบันความต้องการในการใช้บริการโทรศัพท์เพิ่มจำนวนมากขึ้น รวมทั้ง ความต้องการในการใช้บริการส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูง และบริการมัลติมีเดียเพิ่มมากขึ้นด้วย นับ จากอดีตเราใช้สายทองแดงเพื่อเชื่อมต่อกันระหว่างผู้ใช้กับผู้ให้บริการ แต่โลคัลลูปมีสาย มีการ ลงทุนสูงเพราะต้องใช้สายทองแดงเป็นจำนวนมาก และยังมีปัญหาทางด้านการติดตั้ง นอกจากนี้ใน บริเวณเขตชนบท พื้นที่ห่างไกล และพื้นที่ที่ประสบภัยธรรมชาติ เช่น แผ่นดินไหว น้ำท่วม ถ้าใช้ เทคโนโลยีแบบมีสายในการใช้บริการโทรศัพท์จะประสบปัญหาอย่างมาก ดังนั้นจึงได้นำ เทคโนโลยีไร้สายมาใช้ บางที่เรียกว่าสัญญาณวิทยุวงรอบ (Radio In the loop : RITL) หรือสัญญาณ วิทยุเฉพาะที่ (Fixed-Radio Access : FRA) ระบบไร้เลสโลคัลลูปเป็นระบบสื่อสารอย่างหนึ่งที่ พัฒนาขึ้นมา เพื่อใช้ในการต่อเชื่อม ผู้ใช้บริการเข้ากับเครือข่ายโทรศัพท์สาธารณะ (PSTN) โดยใช้ สัญญาณวิทยุแทนสายทองแดง ซึ่งประกอบด้วยระบบเข้าถึงแบบไร้สาย (Cordless Access System) ระบบเข้าถึงด้วยวิทยุประจำที่ของผู้ให้บริการ (Proprietary Fixed Radio Access) และระบบ เซลลูลาร์ประจำที่ (Fixed Cellular System)

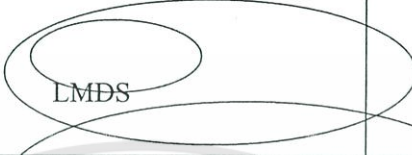
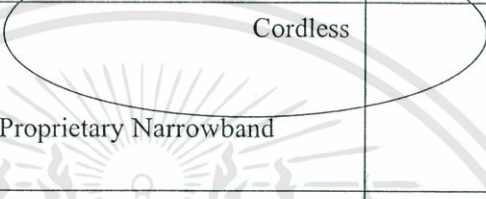
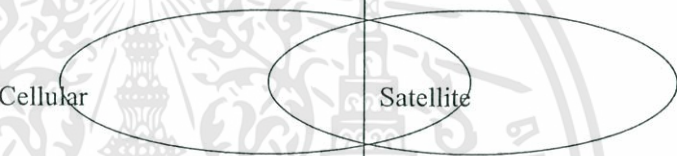
#### 2.1.1 เทคโนโลยีระบบไร้เลสโลคัลลูป (WLL Technologies)

ระบบไร้เลสโลคัลลูปจัดตามขนาดของพื้นที่ที่ครอบคลุมของระบบขนาดพื้นที่ที่ครอบคลุมที่เหมาะสมของ Cell site หนึ่งๆ ของ WLL จะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศและการกระจายตัว ประชากรตลอดพื้นที่ ประกอบด้วยเซลลูลาร์ (Cellular) ไร้สาย (Cordless) ดาวเทียม (Satellite) และ เทคโนโลยีแถบความถี่แคบและแถบความถี่กว้าง (narrow band / broad band) ดังแสดงในตารางที่

#### 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ขนาดของพื้นที่ครอบคลุมของระบบไวร์เลส โลคัลลูป [5]

ความหนาแน่น	ขนาดของพื้นที่ครอบคลุมระบบไวร์เลส โลคัลลูป	
ผู้ใช้บริการ	3 km.	30 km
เขตเมือง		
เขตชานเมือง		
เขตชนบท		

ในขณะที่ปัจจุบันการพัฒนา WLL ยังคงดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ อย่างต่อเนื่อง แต่ยังไม่มีการกำหนดมาตรฐานใด ๆ เข้ามารองรับ WLL ทำให้ผู้จัดหาระบบต้องเผชิญกับทางเลือกไม่ว่าจะเป็นการนำไปใช้กับเทคโนโลยีไร้สายแบบดิจิทัล (Digital Cordless) เคลื่อนที่ (Mobile) และการเข้าถึงประจำที่ (Fixed - Access) ทั้งนี้เทคโนโลยีโปรโตคอลที่เหมาะสมในการใช้งาน เช่น ขนาดและความหนาแน่นประชากรของสภาพภูมิประเทศ (ในเมืองและชนบท) และความต้องการใช้บริการของลูกค้าหรือผู้ใช้บริการ (บ้านเรือน/ธุรกิจบริการ โทรศัพท์พื้นฐาน/การเข้าถึงข้อมูล) [6-7]

ระบบไวร์เลส โลคัลลูป จะใช้กำลังในการส่งต่ำ สถานีฐานจะครอบคลุมพื้นที่บริเวณไม่กว้างมากนัก ซึ่งในระบบไวร์เลส โลคัลลูป มีเทคโนโลยีที่ใช้กำลังในการส่งต่ำอยู่ 3 เทคโนโลยีคือ

- 1) Digital enhanced cordless telecommunication (DECT)
- 2) Personal handy phone system (PHS)
- 3) Personal access communication system (PACS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1.1 Digital enhanced cordless telecommunication (DECT)[4]

DECT คือมาตรฐานยุโรปที่ถูกพัฒนาโดย European Telecommunications Standards Institute (ETSI) แถบความถี่ที่ใช้งานจะอยู่ในช่วง 1,880 – 1,900 MHz การเข้าถึงแบบ TDMA / TDD อัตราการส่งเท่ากับ 1,152 kbps ต่อเซลล์ จำนวนช่องสัญญาณ TDMA ในแต่ละเซลล์เท่ากับ 10 จำนวนช่องสัญญาณเสียงเท่ากับ 120 การเข้ารหัสช่องสัญญาณเสียงจะใช้วิธีการ ADPCM Adaptive Differential Pulse Code Modulation) ซึ่งจะทำให้อัตราบิตของช่องสัญญาณเสียงเหลือเพียง 32 kbps แต่เดิมระบบ DECT ถูกออกแบบให้ใช้กับ Cordless PBX จึงไม่ใช่ระบบ WLL ที่แท้จริง ระบบ DECT เป็นระบบที่มีกำลังส่งต่ำ ทำให้มีระยะไกลในการส่งได้จำกัด

### 2.1.1.2 PHS (Personal Handy phone System)[6]

PHS เป็นมาตรฐานญี่ปุ่น ใช้งานที่แถบความถี่ 1,895 – 1,918 MHz จะมีลักษณะคล้ายกับระบบเซลล์ลาร์ แต่จะแตกต่างกันในบางเรื่อง การเข้ารหัสช่องสัญญาณเสียงจะใช้วิธีการ ADPCM Adaptive Differential Pulse Code Modulation) อัตราบิตของช่องสัญญาณเสียง 32 kbps การเข้าถึง TDMA – TDD มี 77 ช่องสัญญาณต่อเซลล์

### 2.1.1.3 PACS (Personal Access Communication Systems)[5]

PACS พัฒนาในสหรัฐอเมริกา โดย Joint Technical Committee (JTC) ในปี ค.ศ. 1994 แถบความถี่ 1,850 – 1,910 MHz (uplink) และ 1,930 – 1,990 (downlink) การเข้าถึง FDD – TDMA มี 200 ช่องสัญญาณต่อเซลล์ การมอดูเลชัน 9/4 – APSU และอัตราบิตช่องสัญญาณเสียง 32 kbps ADPCM

จากเทคโนโลยีทั้ง 3 เทคโนโลยี คือ Digital enhanced cordless telecommunications (DECT), personal handy phone system (PHS) และ personal access communication system (PACS) ได้ทำการรวบรวมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของทั้ง 3 เทคโนโลยี ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ DECT, PHS และ PACS [5]

System	DECT	PHS	PACS
Frequency band (MHz)	1,880 – 1,900	1,895 – 1,918	1,880 – 1,900 1,930 – 1,990
Duplex Method	TDD	TDD	FDD
Access Method	TDMA	TDMA	TDMA
Number of carriers	10	77	200
Carrier separation (KHz)	1,726	300	300
Modulation	GFSK	$\pi/4$ QPSK	$\pi/4$ QPSK
Rate per channel (Kbps)	1,152	384	384
Maximum rate (Kbps)	11×32	2×32	7×32
System	DECT	PHS	PACS
Frame time(ms)	5 + 5	2.5 + 2.5	2.5
No. slot per frame	12 + 12	4 + 4	8
Speech coding	ADPCN	ADPCN	ADPCN
Mobility (Km/h)	<20	<10	<70
Handoff	Undetected	Short interval	Undetected
Standardizing body	ETSI	RCR	ANSI
Channel assignment	DCA	DCA	QSAFA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cell site	Small	Largest	Large
Control channel to total Channels	Non	1 to 4 (1 to 16)	1 to 8 (1 to 23)
Modulation effect (b/s/Hz)	0.66	1.28	1.28
Connection to other networks	Good	Average	Good
Information bits to total bits	0.67	0.67	0.67

#### 2.1.1.4 เทคโนโลยีเซลลูลาร์ [8]

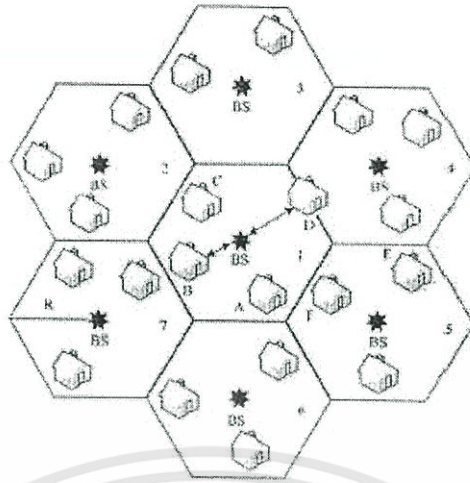
##### 1) เทคโนโลยีเซลลูลาร์แบบอนาล็อก

ปัจจุบันยังมีระบบเซลลูลาร์แบบอนาล็อกใช้งานกันอยู่ที่เป็นหลักๆ คือ AMPS (Advanced Mobile Phone System), NMT (Nordic Mobile Telephone) และ TACS (Total Access Communications System) ข้อจำกัดบางประการของระบบนี้อยู่ที่เรื่องของ Capacity และ Functionality เช่นเดียวกับแพลตฟอร์มของ WLL อย่างไรก็ดี จากการที่เป็นระบบซึ่งมีใช้งานอยู่แล้วอย่างแพร่หลาย จึงคาดว่าจะแพลตฟอร์มไร้สายที่สำคัญสำหรับ WLL ได้ [8]

##### 2) เทคโนโลยีเซลลูลาร์แบบดิจิทัล

ระบบมีการเติบโตค่อนข้างรวดเร็วและคาดว่าจะเข้ามาแทนที่ระบบเซลลูลาร์แบบอนาล็อกได้ในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า มาตรฐานสำหรับระบบเซลลูลาร์แบบดิจิทัลที่สำคัญซึ่งใช้กันทั่วโลก ในปัจจุบันได้แก่ GSM (Global System for Mobile Communications), TDMA (Time Division Multiple Access), E-TDMA (Hughes Enhanced TDMA) และ CDMA (Code Division Multiple Access) ระบบเซลลูลาร์แบบดิจิทัลนี้มีจุดเด่นคล้ายกับแบบอนาล็อก คือ มีการใช้งานกันแพร่หลายแล้วยังสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้ได้มากกว่าแบบอนาล็อกซึ่งเทคโนโลยีเซลลูลาร์ได้แสดงในรูปแบบที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 รูปแบบเทคโนโลยีเซลลูลาร์

### 2.1.1.5 เทคโนโลยีไร้สาย (Cordless Technologies)

เดิมทีโทรศัพท์ไร้สาย (Cordless Telephony) ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้งานในลักษณะไร้สายระหว่างเครื่องแม่ข่ายหรือสถานีฐาน (Base Station) กับเครื่องลูกข่าย (Handset) ตามบ้านเรือนและสำนักงาน เทคโนโลยีไร้สายจะรวมถึง DECT, PHT และ Cordless Telephony System 2 (CT-2) CT-2 ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศอังกฤษ ใช้งานย่านแถบความถี่ 864 – 1 – 868 – 1 MHz ใช้ FDMA มีแบนด์วิดท์เท่ากับ 100 MHz อัตราบิตของช่องสัญญาณเสียง 32 kbps ADPCM

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบเทคโนโลยี DECT, PHS และ CT – 2 ในระบบไวร์เลสโคดัลลูป [4]

Service	DECT	PHS	CT-2
Telephony	มี, เสียงชัดเจน	มี	มี, เสียงชัดเจน
ISDN	มี	ไม่มี	ไม่มี
Fax	มี	ถึง 32 Kbps	ไม่มี
Data	มี, ถึง 550 Kbps	ไม่มี	ถึง 32 Kbps
Videophone	Potentially	จำกัด	ไม่มี
Supplementary Service	ระยะไกล	ไม่มี	จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Multiple lines	ถึง 12	ไม่มี	ไม่มี
Range (radius)	ถึง 5 Km	5 Km	5 Km
Cell per 100 Km <sup>2</sup>	1.3	1.3	1.3
Capacity per cell, 2x1 MHz	2.5	8	7

### 2.1.1.6 เทคโนโลยีไมโครเวฟ

ระบบไวร์เลสโลคัลลูป ที่ทำการส่งสัญญาณทางไมโครเวฟจะต้องมีแนวเส้นทางที่เชื่อมโยงเป็นเส้นตรง ไม่มีอะไรกีดขวางแถบความถี่ที่ใช้งานจะอยู่ในช่วง 8-42 GHz การส่งไมโครเวฟ ทำให้สามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วสูงมากได้ มีคุณภาพเสียงที่ดี และสามารถเชื่อมกับ PBX ที่ปลายทางด้านผู้ให้บริการมายังชุมสายได้ ขนาดของเซลล์สามารถมีรัศมีได้ถึง 35 กิโลเมตร

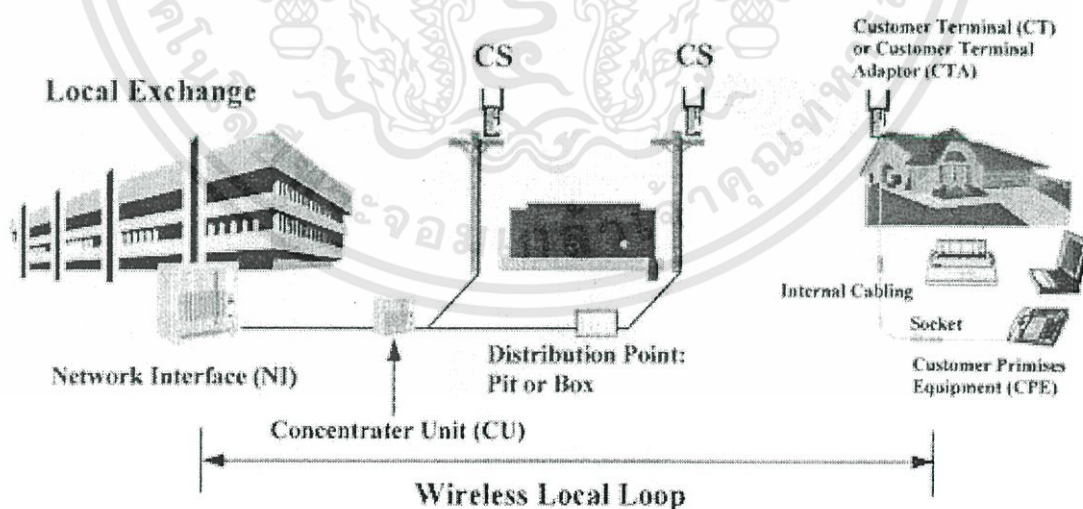
### ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีในระบบไวร์เลสโลคัลลูป

Services	Cellular	Cordless	Proprietary	Microwave
Telephony	ดี	ดี	ดี	สำหรับส่งข้อมูล
Data	14 – 38 Kbps (2G) 2 Mbps(3G)	500 Kbps	144 Kbps	10 Mbps
Frequency Band	800/900 MHz	1.7 – 2 GHz	1.5 – 4 GHz	2.5/28/40 GHz
Line of Sight	ไม่มีผลกระทบ	มีผลกระทบ ปานกลาง	มีผลกระทบ ปานกลาง	มีผลกระทบมาก ๆ
Supplementary Service	ดี	จำกัด	ดี	จำกัดมาก
Capacity	สูง	สูงมาก	สูง	สูงมาก(ข้อมูล)

Range (radius)	สูง (>>35 Km)	ต่ำมาก ๆ (5 Km)	ต่ำ (6 – 15Km)	สูง (30 Km)
Deployment	แพร่หลายมาก	จำกัด (แต่ กำลังเติบโต)	จำกัด	จำกัดมาก ๆ  (โดยเฉพาะใน ประเทศกำลัง พัฒนา)
Deployment Cost	ปานกลาง	ค่อนข้างถูก	แพง	แพงมาก

### 2.1.2 ระบบไร้สายโลคัลลูป และสถาปัตยกรรมของระบบ

ระบบไร้สายโลคัลลูป เป็นเทคโนโลยีที่เปลี่ยนจากการใช้สายทองแดงมาสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุแทน โดยใช้คลื่นวิทยุเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อระหว่างสถานีลูกข่าย และสถานีฐาน เพื่อส่งข้อมูล (Data) หรือเสียง (Voice) ในรูปที่ 3.7 เป็นภาพแสดง สถาปัตยกรรมระบบไร้สายโลคัลลูป [9-10]



รูปที่ 2.2 สถาปัตยกรรมระบบไร้สายโลคัลลูป (WLL System)

โครงข่าย WLL ประกอบด้วย Fixed Subscriber unit (FSU) ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างโครงข่าย

WLL กับอุปกรณ์ปลายทางผ่านช่องสัญญาณอากาศ อุปกรณ์ปลายทางที่พบเห็นได้ทั่วไป โดยมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบที่ขึ้นกับระบบที่ใช้งานอยู่ เช่น โทรศัพท์ทักพา โทรศัพท์ไร้สาย หรือคอมพิวเตอร์ หน้าที่หลักของ Fixed Subscriber unit(FSU) คือ การเปลี่ยนข่าวสารของผู้ใช้บริการจากรูปแบบเดิม ซึ่งอาจเป็นสัญญาณเสียงให้อยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัลที่เหมาะสมกับการรับส่งด้วยระบบวิทยุแบบดิจิทัล Base Station ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ Base Transceiver System (BS) และ Base Station Controller (BSC) โดยที่ BS จะเชื่อมต่อกับ BSC และอุปกรณ์ปลายทางแบบไร้สายผ่านช่องสัญญาณทางอากาศ และมีลักษณะการเชื่อมต่อแบบจุดต่อหลายจุด (Point – to – Multipoint) โดย BS เป็นสถานีรับส่งสัญญาณวิทยุขนาดเล็กตั้งอยู่ที่มีรัศมีทำการเฉพาะภายในขอบเขตที่ตัวเองรับผิดชอบ เช่น ในเซลล์หรือภายในส่วนที่ให้บริการ BSC จะครอบคลุมการทำงานของ BS แต่ละตัว และเชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์สาธารณะ (PSTN) อุปกรณ์ควบคุมโครงข่ายวิทยุ (wireless network control device) อุปกรณ์ที่ควบคุมการทำงานของระบบสื่อสารไร้สายทั้งหมด ทำหน้าที่กำหนดการเชื่อมต่อเครื่องโทรศัพท์ของผู้เข้าที่ต้องการใช้บริการ และเชื่อมต่อกับโครงข่ายอื่น รวมทั้งควบคุมประสิทธิภาพของโครงข่ายโดยรวมอีกด้วย [10-11] ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบไวร์เลสโลกัลรูป ในแต่ละเทคโนโลยีแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบไวร์เลสโลกัลรูป ในแต่ละเทคโนโลยี

System	PHS	CDMA2000	W – CDMA
Region	Europe	USA	Europe and Japan
Access method	FDMA/TDMA	CDMA	CDMA
Duplexing	TDD	FDD	FDD
Tx Frequency(MHz)	1,880 – 1,900	1,930 – 1,990	1,930 – 1,990
Rx Frequency(MHz)	1,880 – 1,900	1,850 – 1,910	1,850 – 1,910
Spacing Channel(MHz)	1.728	1.25,5,10,15	1.25,5,10,15
Number of carrier	10	48, 12, 6, 4	48, 12, 6, 3
Modulation	GMSK (BT =5)	QPSK (downlink)	QPSK (downlink)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		BPSK (uplink)	BPSK (uplink)
Speech coding	ADPCM	IS-733	ADPCM
Speech rate (Kbps)	32	13.3	32
Voice channels	62 (channel per cell) 253 (Walsh codes per sector)	128 (channel per cell)	
Channel rate(Kbps)	1, 152/2, 304/3, 456	9.6 to 2, 073.6	8 to 2, 048
Peak/average power (mW)	250/10	100/25	100/25
Frame duration(ms)	10	20 and 5	10 (optional = 2)
Channel coding	CRC	CRC	CRC
Channel allocation	Dynamic	Dynamic	Dynamic

### 2.1.3 เทคโนโลยีของระบบวิทยุที่ใช้

การใช้ระบบการเชื่อมต่อแบบไร้สาย จะต้องใช้เทคโนโลยีระบบวิทยุที่มีความก้าวหน้ามากกว่าการใช้ระบบ AM (amplitude modulation) และ FM (frequency modulation) ที่มีใช้กันมาเป็นเวลานาน วิทยุระบบ AM และ FM ไม่เหมาะสมจะนำมาใช้เป็นระบบการเชื่อมต่อแบบไร้สาย ด้วยสาเหตุหลายประการคือ

- 1) การใช้ความถี่ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรเพราะออกแบบมาให้ใช้ได้เพียง 1 ช่องสัญญาณต่อ 1 ความถี่

2) การลงทุนจะสูงสำหรับให้บริการแบบโทรศัพท์ ซึ่งผู้ใช้จำนวนมากทำการรับส่งพร้อมกัน ทำให้ต้องมีการใช้งานหลายความถี่ในเวลาเดียวกัน

3) ไม่มีความเป็นส่วนตัว เนื่องจากสามารถรับฟังได้จากเครื่องรับทั่วไปได้

4) ไม่เหมาะสมสำหรับบริการแบบดิจิทัลสมัยใหม่ต่าง ๆ ซึ่งแต่ละบริการมีความเร็วในการรับส่ง ข้อมูลไม่เท่ากัน

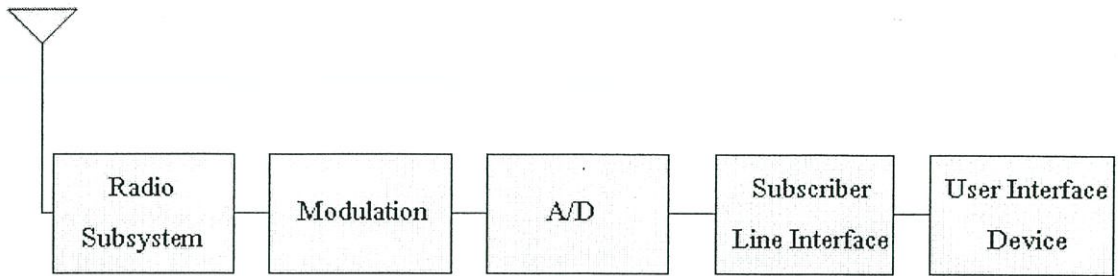
จะเห็นว่าระบบ FM เป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการส่งแบบแพร่กระจายคลื่นทางเดียว ไม่ได้ออกแบบมาสำหรับการให้บริการชนิดที่มีผู้เช่าจำนวนมากติดต่อรับส่งข่าวสารซึ่งกันและกัน และผู้เช่าแต่ละคนจะต้องครอบครองช่องสัญญาณไว้เฉพาะตัวในช่วงเวลาในเวลาหนึ่ง ทำให้มีการพัฒนาระบบที่เรียกว่าระบบวิทยุแบบเข้าถึงหลายทาง (multiple access radio system) ซึ่งมีคุณสมบัติต่างจากการสื่อสารแบบเดิมคือ

- 1) สามารถทำการสื่อสารได้หลายช่องทางสื่อสารพร้อมกัน
- 2) ช่องทางสื่อสารที่ผู้เช่าแต่ละคนใช้ จะมีคุณสมบัติเหมือนกับการใช้คู่สายโทรศัพท์ธรรมดาที่ใช้กันอยู่ทั่วไป
- 3) ช่องสัญญาณที่ใช้สำคัญผู้เช่าแต่ละคน จะไม่มีการกำหนดไว้ล่วงหน้า แต่จะใช้หลักการใครมาก่อนก็ได้ใช้ช่องสัญญาณที่ว่างก่อน

จากข้อดีดังกล่าวทำให้มีการนำระบบวิทยุแบบเข้าถึงหลายทาง มาใช้อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โทรศัพท์พกพา ระบบคู่สายแบบวิทยุ ฯลฯ

#### 2.1.4 โครงสร้างของสถานีฐานและสถานีลูกข่าย

ส่วนประกอบของระบบ การเชื่อมต่อแบบไร้สาย ที่ผู้เช่าเห็นได้ชัดเจนที่สุดคือสถานีลูกข่าย ซึ่งมีหลายรูปแบบตามสภาพการใช้งานแต่อย่างไรก็ตามฟังก์ชันพื้นที่จะเหมือนกันคือประกอบด้วยส่วนที่ทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณวิทยุ (Radio subsystem) ส่วนทำหน้าที่ผสมสัญญาณ (Modulation) ส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อก/ดิจิทัล (A/D : analog to digital conversion) และเชื่อมโยงไปยังผู้ใช้ (Subscriber line interface) ดังในรูปที่ 2.3 [12]

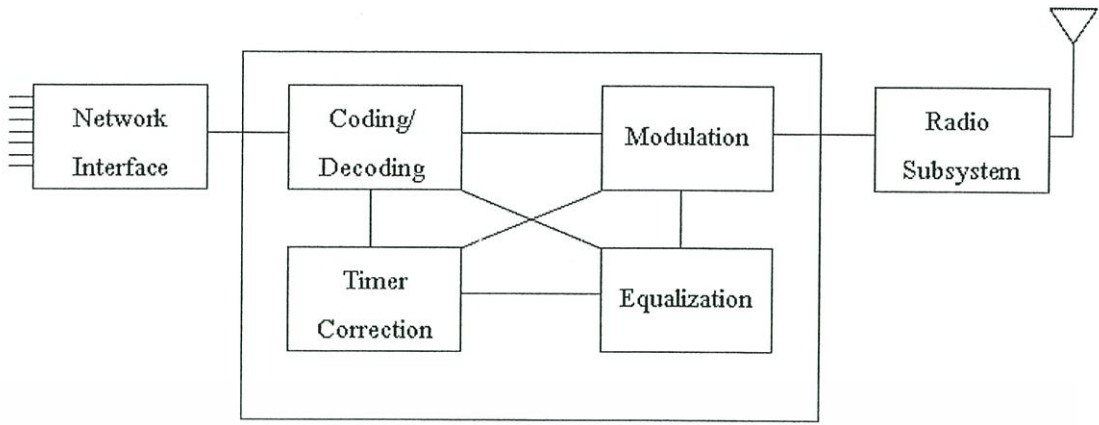


รูปที่ 2.3 โครงสร้างสถานีของข่าย (subscriber station)

หน้าที่ของสถานีลูกข่ายนี้ คือ ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณเสียงจากเครื่องโทรศัพท์ของผู้เช่าที่เข้ามาอยู่ในรูปสัญญาณดิจิทัลเพื่อให้เหมาะสมกับการรับส่งด้วยระบบวิทยุแบบดิจิทัล และสร้างสัญญาณวิทยุเชื่อมโยงไปยังสถานีฐาน โดยใช้เทคนิคการส่งสัญญาณวิทยุที่ออกแบบไว้เฉพาะของแต่ละระบบ TDMA หรือ FDMA เป็นต้น ทั้งนี้การรับส่งปกติจะเป็นการรับส่งทั้งสองทิศทาง (duplex)

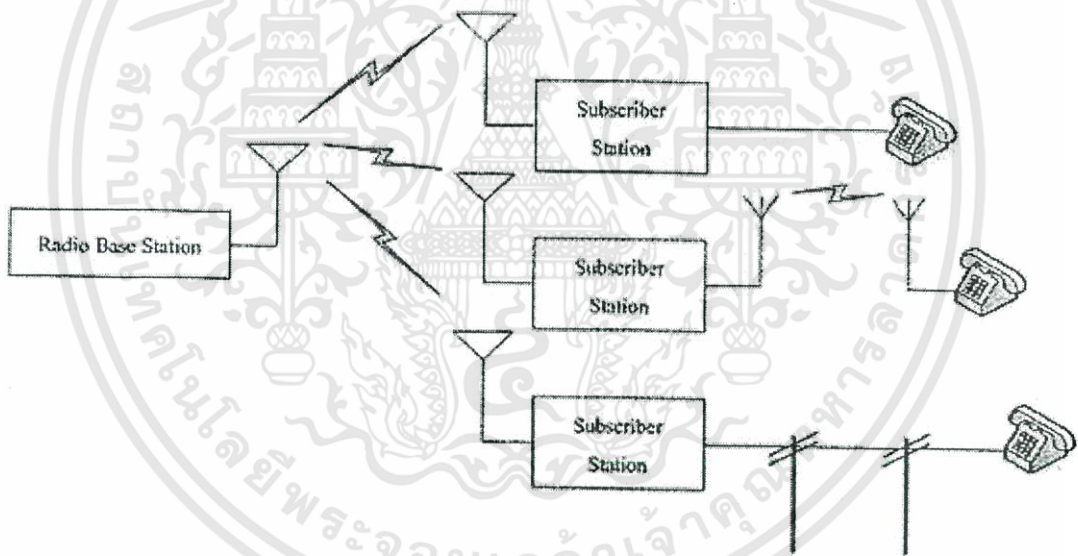
ส่วนสถานีฐานจะทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางรับส่งสัญญาณวิทยุสำหรับติดต่อสถานีลูกข่ายที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการเดียวกัน (Cell หรือ sector) โดยขนาดของพื้นที่ให้บริการจะขึ้นอยู่กับชนิดของบริการที่ให้ส่วนประกอบที่สำคัญของสถานีฐานประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 2.4

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าสถานีฐาน และส่วนรับส่งวิทยุ (radio subsystem) ทำหน้าที่ในการสร้างวงจรเชื่อมโยงด้วยคลื่นวิทยุกับสถานีลูกข่ายส่วนต่อมาก็คือส่วนที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนข้อมูลจากรูปแบบเดิม (digital signal processing) เช่น สัญญาณเสียง หรือข้อมูล ให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลที่มีโครงสร้างตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ สำหรับระบบ การเข้าถึงแบบหลายทางแต่ละแบบ ส่วนสุดท้ายเป็นส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างสถานีฐานกับโครงข่ายโทรคมนาคมที่ใช้ (network interface) เช่น อาจเป็นโครงข่ายโทรศัพท์ โครงข่ายคอมพิวเตอร์ ฯลฯ



รูปที่ 2.4 สถานีฐาน (Radio base station)

สำหรับการเชื่อมต่อระหว่างสถานีลูกข่ายกับตัวเครื่องโทรศัพท์ จะมีรูปแบบการเชื่อมโยงได้หลายวิธีขึ้นกับความแตกต่างของบริการที่ใช้ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเชื่อมโยงระหว่างสถานีลูกข่ายและตัวเครื่องโทรศัพท์

การเชื่อมโยงระหว่างสถานีลูกข่ายและตัวเครื่องโทรศัพท์ มีวิธีการดังนี้

- 1) แบบแรกจะเป็นกรณีที่ตัวเครื่องโทรศัพท์และสถานีลูกข่ายถูกออกแบบให้อยู่ในเครื่องเดียวกัน ทำให้สามารถเคลื่อนย้ายไปด้วยกันได้ ตัวอย่างที่พบบันอยู่ทั่วไปก็คือ บริการโทรศัพท์มือถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แบบที่สองตัวเครื่องโทรศัพท์จะเคลื่อนที่ได้ ขณะที่สถานีลูกข่ายอยู่กับที่ เช่น บริการโทรศัพท์พกพา

3) แบบที่สามจะเป็นการที่ทั้งตัวสถานีลูกข่าย และตัวเครื่องโทรศัพท์จะอยู่กับที่ เช่น การให้บริการโทรศัพท์โดยคู่สายโทรศัพท์ไร้สาย

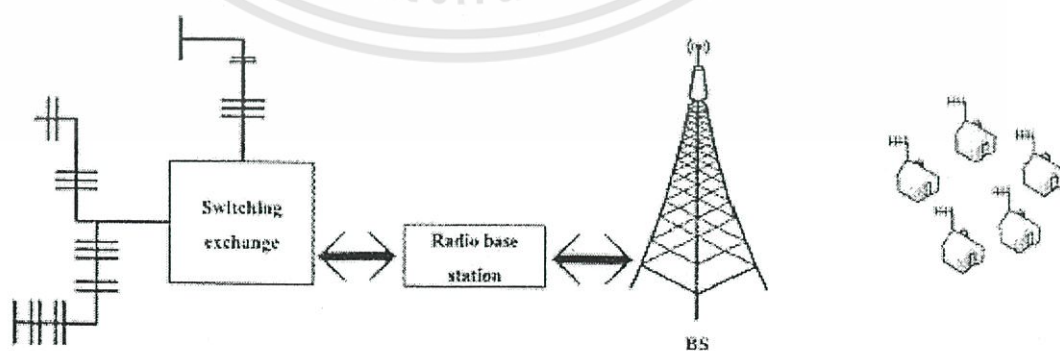
การเชื่อมต่อทั้ง 3 แบบ จะมีผลต่อวิธีการออกแบบโครงข่ายและวิธีการใช้งานที่แตกต่างกัน แต่ในที่นี้จะพิจารณาในรายละเอียดของการเชื่อมโยงแบบที่ 3 ซึ่งอาจนำมาใช้ในการให้บริการแทนข่ายสายตอนนอก สำหรับให้บริการโทรศัพท์พื้นฐาน

### 2.1.5 การใช้การเชื่อมต่อแบบไร้สาย สำหรับโครงข่ายโทรศัพท์

การใช้งาน การเชื่อมต่อแบบไร้สาย ที่สำคัญอันหนึ่งคือ การใช้ในการให้บริการโทรศัพท์พื้นฐาน ซึ่งมีการนำมาใช้งานในช่วง ค.ศ. 1980 – 1990 โดยการนำคลื่นวิทยุมาแทนข่ายสายตอนนอก โดยอาจพิจารณานำมาใช้งานในกรณีต่อไปนี้

- 1) ให้บริการในบริเวณที่ขาดแคลนข่ายสายตอนนอก
- 2) ในบริการในบริเวณที่โครงข่ายโทรศัพท์ยังไม่ถึง
- 3) ทดแทนข่ายสายตอนนอกที่หมดอายุการใช้งาน
- 4) ในกรณีเกิดสถานการณ์ฉุกเฉินจนไม่สามารถให้บริการโทรศัพท์ด้วยข่ายสายตามปกติได้

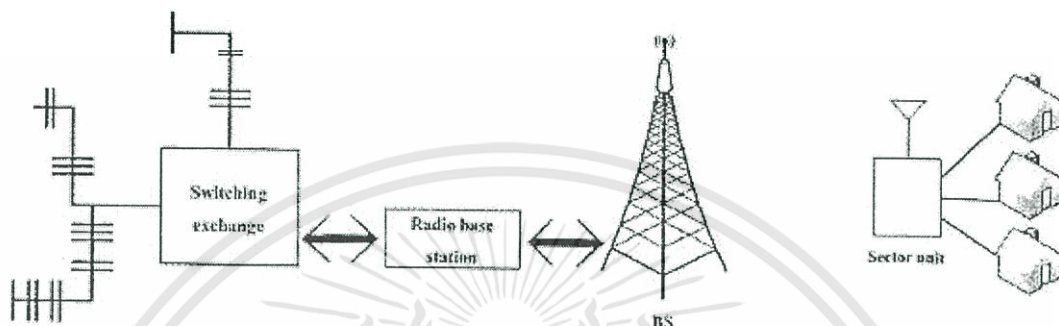
โดยทั่วไปการนำระบบคู่สายโทรศัพท์ไร้สายมาใช้จะเป็นการให้บริการร่วมกับข่ายสายตอนนอกที่มีอยู่ โดยทั้งข่ายสายวิทยุและข่ายสายธรรมดาจะทำงานร่วมกัน ซึ่งมีรูปแบบการใช้งาน



รูปที่ 2.6 การส่งสัญญาณจากสถานีฐาน ไปยังบ้านผู้เช่าแต่ละรายที่แยกกระจายจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดีของระบบแบบนี้คือไม่จำเป็นต้องใช้โครงข่ายสายกระจายแบบเคเบิลทองแดงร่วมด้วยเลย เพราะติดตั้งสถานีลูกข่ายไว้กับผู้เช่าแต่ละราย แต่การติดตั้งแบบนี้อาจจะมีราคาแพงกว่าการติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 จะเป็นการใช้ระบบคู่สายโทรศัพท์แบบไร้สายเชื่อมโยงไปยังผู้เช่าที่อยู่ในอาณาบริเวณเดียวกัน

การออกแบบระบบแบบนี้จะต้องพิจารณาทั้งการออกแบบระบบคู่สายโทรศัพท์แบบไร้สายและระบบสายกระจาย แต่มีข้อดีคือ มูลค่าการลงทุนจะต่ำกว่าแบบแรก เนื่องจากผู้เช่าหลายๆ รายจะใช้สถานีลูกข่ายกลุ่มย่อยร่วมกัน

นอกจากนี้การนำเอาระบบคู่สายโทรศัพท์แบบไร้สายมาแทนข่ายสายตอนนอกของโทรศัพท์จะต้องมีการออกแบบระบบให้มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าและขั้นตอนการใช้งานที่เหมือนกันกับการใช้ข่ายสายตอนนอกที่เป็นเคเบิลทองแดง โดยต้องให้มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

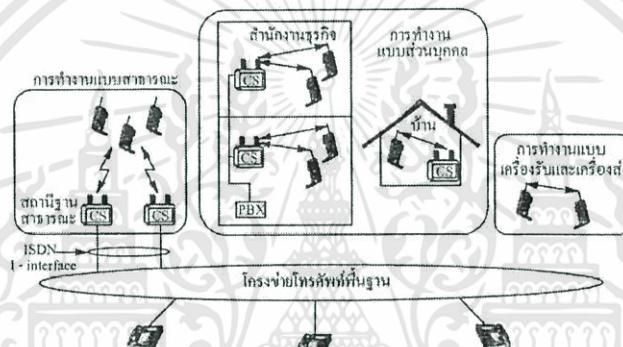
1) Transparency ผู้เช่าที่ใช้โทรศัพท์จะต้องไม่พบความแตกต่างในการติดต่อ ไม่ว่าจะเรื่องโทรศัพท์ที่ใช้นั้น จะเชื่อมต่อกับชุมสายโดยใช้คู่สายที่เป็นเคเบิลหรือคู่สายระบบวิทยุ

2) Quality of service คุณภาพของการติดต่อสื่อสารจะต้องเหมือนกัน เช่น คุณภาพ เสียงระยะเวลาในการรับสัญญาณตอบรับ ฯลฯ

3) Grade of service คุณภาพของการให้บริการจะต้องเท่ากัน เช่น อัตราการเรียก ไปยังปลายทางแล้วประสบผลสำเร็จ ฯลฯ การกำหนดให้ระบบคู่สายวิทยุมีคุณสมบัติเช่นเดียวกับระบบเครือข่ายตอนนอกของโทรศัพท์ก็เพื่อให้ผู้เช่าแต่ละรายได้รับบริการเหมือนกันไม่ว่าจะอยู่ระบบใด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

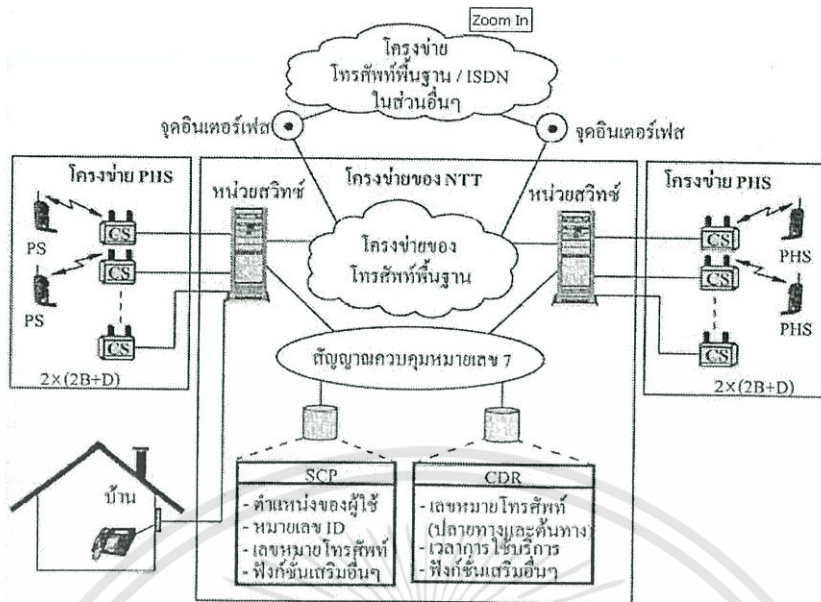
## 2.2 โครงข่ายโทรศัพท์ PHS [8]

เป็นโครงข่ายระบบโทรศัพท์ไร้สายแบบดิจิทัลที่สามารถใช้งานได้ทั้งที่บ้าน ที่ทำงานเขตพื้นที่ชุมชน ย่านธุรกิจ และพื้นที่สาธารณะต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.8 ในระบบโทรศัพท์ PHS สถานีฐานจะเรียกว่า สถานีเซลล์ หรือเซลล์สเตชัน (CS : Cell Station) [20] และสถานีเครื่องที่ (PHS Personal Station) จะเรียกว่า เครื่องโทรศัพท์ PHS โดยเซลล์จะมีขนาดเล็กในระดับมินิเซลล์ มีรัศมีการให้บริการเพียง 100 – 300 เมตร เท่านั้น โดยทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มความจุของระบบ และเป็นการประหยัดพลังงานเพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของแบตเตอรี่เครื่องโทรศัพท์ PHS ทั้งยังเป็นการลดราคาของสถานีเซลล์ลง



รูปที่ 2.8 ลักษณะการบริการของโทรศัพท์ PHS

จากรูปที่ 2.8 ลักษณะการทำงานของระบบโทรศัพท์ PHS จะมีการใช้งานแบ่งออกเป็น 3 ลักษณะ ลักษณะแรกเป็นระบบโทรศัพท์ไร้สายดิจิทัลที่สามารถใช้งานแบบโทรศัพท์ไร้สายได้ทั้งที่บ้านและที่ทำงาน ซึ่งการใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่า การใช้งานในโหมดส่วนตัว (Private Mode) เครื่องโทรศัพท์ PHS จะทำงานติดต่อกับ Home Base Unit แบบโทรศัพท์ไร้สายขด (Cordless Telephone) หรือใช้งานลักษณะ Wireless PABX ร่วมกับชุมสายโทรศัพท์ปลายทางอัตโนมัติใน PHS ยังสามารถทำการติดต่อสื่อสารโดยตรงระหว่างเครื่องโทรศัพท์ PHS ด้วยกันได้ การใช้งานในลักษณะนี้เรียกว่าแบบ โหมดรับ-ส่ง (Transceiver Mode) สำหรับการใช้งานในโหมดนี้จะสามารถใช้งานได้ก็ต่อเมื่อเครื่องโทรศัพท์ PHS อยู่ในบริเวณใกล้ ๆ กันในลักษณะอินเตอร์คอม สำหรับการเลือกใช้งานในแต่ละโหมดนั้นผู้ใช้บริการสามารถเลือกใช้งานได้



รูปที่ 2.9 โครงข่ายระบบโทรศัพท์ PHS

2.2.1 โครงสร้างข่ายโทรศัพท์ PHS

เป็นโครงข่ายที่มีการใช้งานร่วมกับระบบโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยผู้ให้บริการโครงข่ายจะจัดการเชื่อมต่อระหว่างสถานีเซลล์กับเครื่องโทรศัพท์ PHS และจัดการฐานข้อมูลของผู้ใช้บริการ สำหรับเซลล์ในพื้นที่ต่าง ๆ จะถูกเชื่อมต่อกับชุมสายท้องถิ่น โดยมีการเชื่อมต่อแบบ I-interface ตามมาตรฐานของโครงข่าย ISDN

ตารางที่ 2.6 แสดงการใช้งานความถี่ของระบบโทรศัพท์ PHS

ช่องสัญญาณที่	ความถี่ (MHz)	ลักษณะการใช้งาน
1	1895.150	ใช้งานในลักษณะเป็นเครื่องรับเครื่องส่งวิทยุ (Transceiver mode : PS → PS) และใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
-	-	
10	1897.850	
11	1898.150	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
12	1898.450	เป็นช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล
13	1898.750	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
-	-	
17	1899.950	

18	1900.250	เป็นช่องสัญญาณควบคุมสำหรับการสื่อสารส่วนบุคคล
19	1900.550	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารส่วนบุคคล (Private mode)
-	-	
37	1905.950	
38	1906.250	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ (Public mode : สามารถใช้งานกับสถานีฐานที่ใช้พลังงานสูงและพลังงานต่ำ)
-	-	
53	1910.750	
54	1911.050	ใช้งานในลักษณะการสื่อสารในพื้นที่สาธารณะ (Public mode : สามารถใช้งานกับสถานีฐานที่ใช้พลังงานต่ำเท่านั้น)
-	-	
69	1915.550	
70	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

ลักษณะของช่องสัญญาณทางฟิสิกส์จะทำการส่งข้อมูลโดยใช้ช่องสัญญาณ B ในแต่ละสถานีเซลล์จะสามารถรองรับได้ 4 ช่องสัญญาณ ใช้คู่สาย ISDN ที่มีการเชื่อมต่อแบบ BRI (Basic เช่น การดูแลการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของผู้ใช้บริการ โดยหมายเลขของผู้ใช้บริการจะถูกเก็บไว้ในส่วนควบคุมการให้บริการ (SCP: Service Control Point) และการบันทึกข้อมูลการเรียกของผู้ใช้บริการ (CDR : Call Detail Record) ข้อมูลหมายเลขที่ทำการเรียก [6] หมายเลขโทรศัพท์ที่ถูกเรียก และเวลาในการสนทนาจะใช้การเชื่อมต่อแบบ SS7 (Signaling System No. 7)

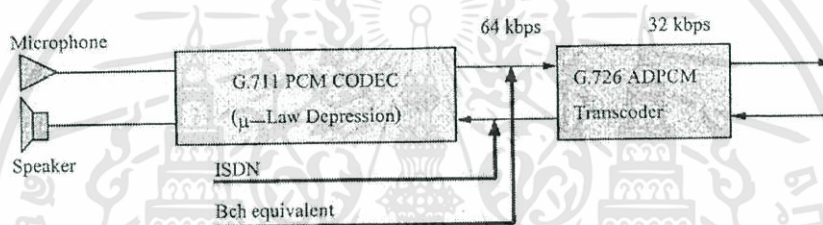
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 การใช้งานแถบความถี่ในระบบโทรศัพท์ PHS

ช่องสัญญาณจะแบ่งออกเป็น 77 ช่องสัญญาณ แต่ละช่องสัญญาณกว้างช่องละ 300 kHz โดยจะใช้งานในช่วงความถี่ 1895.15 – 1917.95MHz (ความกว้างของความถี่ 22.8 MHz) สำหรับรายละเอียดความถี่และลักษณะการใช้งานในแต่ละช่องสัญญาณแสดงดังตารางที่ 2.1 [1]

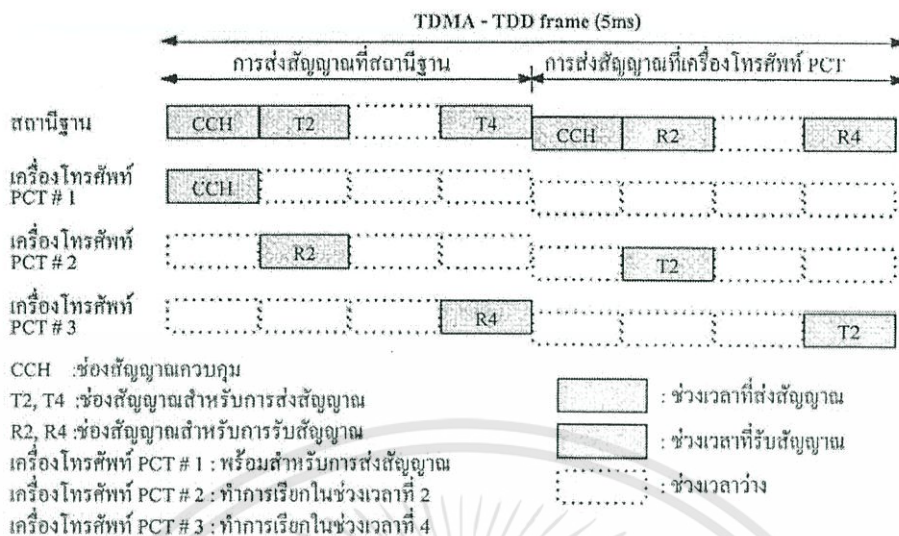
## 2.2.3 เทคนิคการเข้ารหัสสัญญาณเสียงและการมัลติเพล็กซ์ช่องสัญญาณ

การเข้ารหัสสัญญาณเสียงของระบบ จะใช้วิธีการเข้ารหัสสัญญาณแบบ ADPCM ตามมาตรฐาน G.711 และ G.726 ของ ITU-T ซึ่งมีรายละเอียดดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมการเข้ารหัสแบบ ADPCM สำหรับเสียงพูด

จากรูป 2.11 แสดงการจัดช่องสัญญาณของระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุบุคคลพีซีที ใน 1 ช่องสัญญาณในการติดต่อจะแบ่งเป็น 8 ช่องเวลา (Time Slot) โดยใช้เทคนิคแบบ 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 เครื่องจะใช้โทรศัพท์พีซีทีได้ 3 เครื่องพร้อม ๆ กัน



รูปที่ 2.11 การจัดช่องสัญญาณแบบ TDMA-TDD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

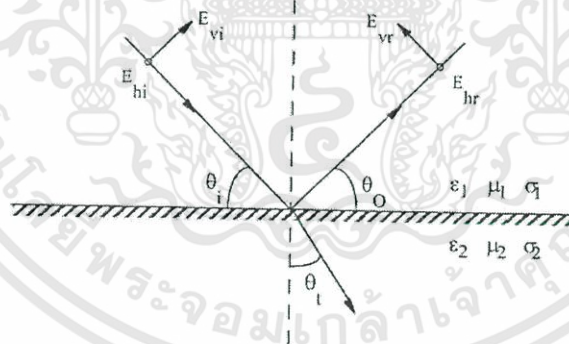
### บทที่ 3

## ทฤษฎีการสูญเสียจากการการแพร่กระจายคลื่น

### 3.1 กลไกพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่น (Basic propagation Mechanisms)

#### 3.1.1 การสะท้อนของคลื่น (Reflection)

จะเกิดเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบบนสิ่งกีดขวางที่มีมิติกว้างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น การสะท้อนเกิดจากพื้นผิวของโลหะและสิ่งก่อสร้างหรือจากผนังก่อให้เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นที่อุปกรณ์รับสัญญาณ เมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบบนตัวกลางสองตัวที่มีค่าไดอิเล็กทริกแตกต่างกัน ส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับและอีกส่วนหนึ่งจะเคลื่อนที่ทะลุผ่าน ในกรณีที่คลื่นตกกระทบบนอากาศ ปกติบนผิวตัวนำไฟฟ้า คลื่นจะมีการสะท้อนกลับโดยไม่มีการสูญเสียพลังงาน แต่ถ้าคลื่นตกกระทบบนผิวของฉนวนไฟฟ้า พลังงานส่วนหนึ่งจะทะลุผ่านเข้าไปในผิว พลังงานอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับและไม่มีการสูญเสียของพลังงานในการดูดกลืน ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าของคลื่นตกกระทบบนและคลื่นสะท้อนแสดงโดยค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของเฟรสเนล (Fresnel Reflection Coefficient:  $\Gamma$ )



รูปที่ 3.1 การสะท้อนของคลื่น

จากรูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการตกกระทบบนและสะท้อนของคลื่น โดยตัวแปรห้อย  $v$  และ  $h$  หมายถึงการโพลาไรซ์ของสนามไฟฟ้าในแนวตั้งและแนวนอนตามลำดับ และตัวแปรห้อย  $i$  ละ  $r$  หมายถึงสนามไฟฟ้าที่ตกกระทบบนและสะท้อนตามลำดับ ค่าพหุคูณตรีโกณมิติ ค่าความแทรกซึม และสภาพการนำของตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 จะแทนด้วย  $\epsilon_1, \mu_1, \sigma_1$  และ  $\epsilon_2, \mu_2, \sigma_2$  ตามลำดับ

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

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

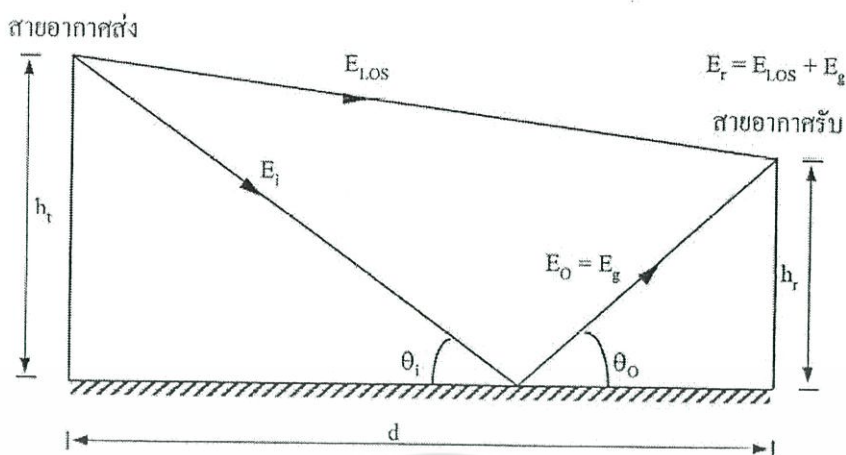
$$\Gamma_h = \frac{E_{hr}}{E_{hi}} = \frac{\sin \theta_i - \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2 \theta_i}}{\sin \theta_i + \sqrt{\varepsilon_r - \cos^2 \theta_i}} \quad (3.2)$$

เมื่อ  $\varepsilon_r$  เป็นค่าเพอิมิตติวิตี (Permittivity) ที่สัมพันธ์กันระหว่างตัวกลางที่ 1 และตัวกลางที่ 2 เป็นมุมตกกระทบที่ทำให้สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะเรียกมุมนี้ว่า มุมของกริวส์เตอร์ (Grewter angle) โดยสามารถเขียนสมการของค่ามุมกริวส์เตอร์ ดังสมการที่ (3.3)

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

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

$$\theta_i = \theta_0 \quad \text{และ} \quad E_0 = \Gamma E_i \quad (3.4)$$



รูปที่ 3.2 คลื่นตรงที่เดินทางผ่านอากาศและคลื่นสะท้อนจากพื้นผิวโลก

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

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

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)

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

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  $E_{00}$  ซึ่งเป็นค่าสนามไฟฟ้าที่วัดได้ที่ระยะ  $d_0$  จากสายอากาศส่ง

ค่าพลังงานที่วัดได้ที่ตำแหน่ง  $d$  จะแปรผันตรงกับค่าสนามไฟฟ้ายกกำลังสอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้มาใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

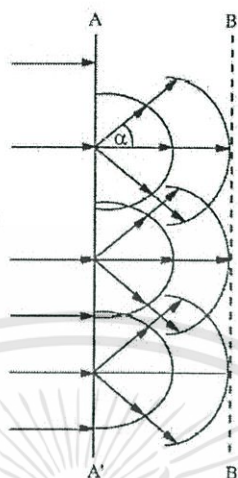
ถ้าระยะห่างระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับมีค่ามาก ๆ พลังงานที่ได้รับก็จะมีค่าลดลงด้วยอัตรา 40dB/decade โดยค่าพลังงานที่ได้รับ และค่าของการลดทอนของสัญญาณจะเพิ่มขึ้นอยู่กับความถี่ ซึ่งสมการการลดทอนของสัญญาณจากพื้นดินในหน่วยเดซิเบล ได้ดังสมการที่ (3.9)

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

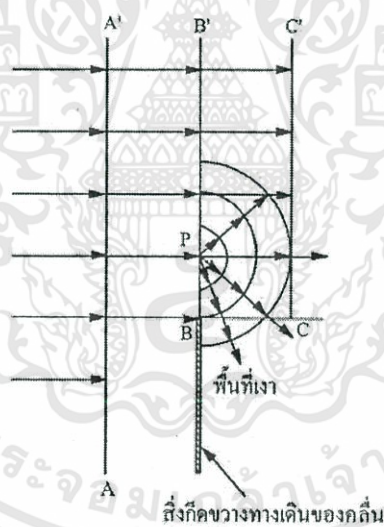
### 3.1.2 การเลี้ยวเบนของคลื่น (Diffraction)

จะเกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งกีดขวางระหว่างเส้นทางการเดินทางของคลื่นระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณ โดยพื้นผิวของสิ่งกีดขวางมีมุม หรือมีลักษณะที่ไม่เรียบ คลื่นที่มีการเลี้ยวเบนอันเนื่องมาสิ่งกีดขวาง จะมีการเคลื่อนที่ผ่านอากาศ และเคลื่อนที่บริเวณด้านหลังของสิ่งกีดขวาง (ทำให้เกิดเขตพื้นที่เงา) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์การเลี้ยวเบนของคลื่นที่ความถี่สูง จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางเรขาคณิตของสิ่งกีดขวาง แอมพลิจูด เฟส และการโพลาไรซ์ของคลื่นที่จุดที่มีการเลี้ยวเบนปรากฏการณ์ที่เกิดของสิ่งกีดขวาง แอมพลิจูด เฟส และการโพลาไรซ์ของคลื่นที่จุดที่มีการเลี้ยวเบนปรากฏการณ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของคลื่น สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีเบื้องต้นของฮิวเกน (Huygen's principle) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า “ทุกๆ จุดบนคลื่นวิทยุสามารถพิจารณาได้ในลักษณะเช่นเดียวกับแหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สอง ซึ่งสามารถเป็นจุดกำเนิดคลื่นย่อยอื่นๆ และคลื่นย่อยต่างๆ จะประกอบกันเป็นหน้าคลื่นใหม่ในเส้นทางการแพร่กระจายคลื่น การเลี้ยวเบนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแพร่กระจายของหน้าคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดเขตพื้นที่เงา ซึ่งค่าความหนาแน่นของคลื่นที่เกิดจากการเลี้ยวเบนในเขตพื้นที่เงาจะมีการรวมกันแบบเวกเตอร์ของคลื่นใหม่ที่เกิดขึ้นทั้งหมด”

จากรูปที่ 3.3 เมื่อพิจารณาที่ AA' จะเห็นว่ามีการคลื่นในแนวต่าง ๆ ที่แตกกระจายออกไปในมุม ซึ่งมีรูปแบบที่ไม่แน่นอน ค่าแอมพลิจูดของคลื่นต่างๆ จะมีค่าเป็น  $(1 - \cos \alpha)$  แต่ในทิศทางตรงข้ามมุม จะมีค่าเท่ากับศูนย์และมีค่าแอมพลิจูดสูงสุด คือ เท่ากับ 2 ในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งมีมุม เท่ากับ จะมีค่าแอมพลิจูดต่ำสุด คือมีค่าเท่ากับ 1



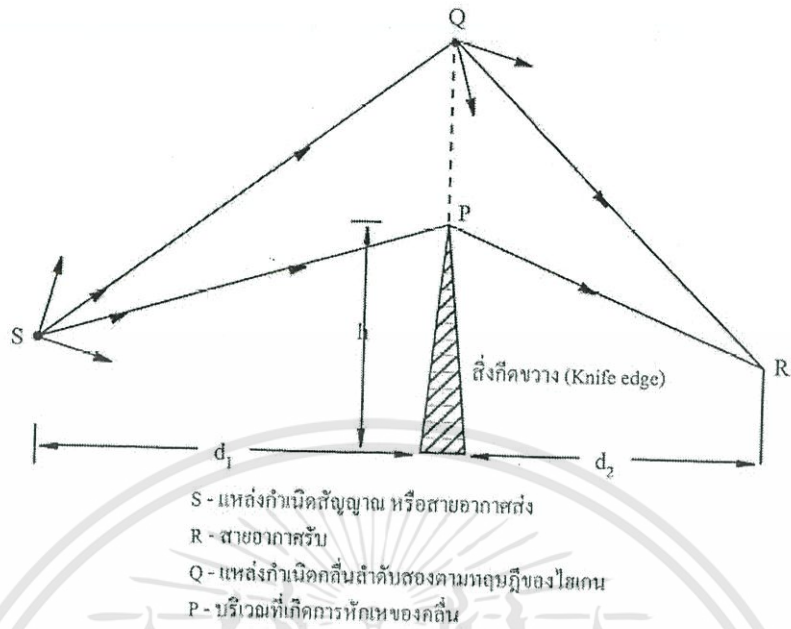
รูปที่ 3.3 หลักการของ Huygen



รูปที่ 3.4 การเลี้ยวเบนของคลื่นที่บริเวณส่วนปลายของสิ่งกีดขวาง

จากรูปที่ 3.4 เมื่อมีเขตที่เงาเกิดขึ้น อันเนื่องมาจากสิ่งกีดขวางระหว่างสายอากาศส่งและสายอากาศรับ เช่น อาคารหรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ การลดทอนของสัญญาณจะเกิดจากการหักเหของคลื่นเมื่อเคลื่อนที่ผ่านสิ่งกีดขวางต่าง ๆ เหล่านี้ โดยให้ลักษณะของสิ่งกีดขวางเป็นเหลี่ยมแหลมและมีการหักมุมที่มีลักษณะไม่เรียบซึ่งการลดทอนเนื่องจากการเลี้ยวเบนของคลื่นที่เกิดขึ้นบริเวณนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของ Huygen

จากรูปที่ 3.5 ค่าความแรงของสนามไฟฟ้าที่จุด R ในพื้นที่เงา (จะเรียกว่าโซนการเลี้ยวเบน) จะเป็นผลรวมของเวกเตอร์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งกำเนิดคลื่นในอันดับที่สองตามทฤษฎีของฮิวเกนในพื้นที่เหนือสิ่งกีดขวาง โดยค่าความแรงของสนามไฟฟ้า ( $E_d$ ) ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการเลี้ยวเบนของคลื่นที่บริเวณสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมแหลม สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (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)

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

โดย  $h$  เป็นความสูงของสิ่งกีดขวาง และ  $d_1$  และ  $d_2$  เป็นระยะทางของสิ่งที่กีดขวางจากสายอากาศส่งและสายอากาศรับ ตามลำดับ ถ้าสิ่งกีดขวางยื่นออกมาเหนือเส้นทางลากจากจุด S ไปยังจุด R โดยค่าของ  $h$  และ  $\nu$  จะเป็นบวก แต่ถ้าสิ่งกีดขวางมีระดับต่ำกว่าสภาวะการมองเห็นในระดับสายตา ค่าของ  $h$  และ  $\nu$  จะเป็นลบ สมการการลดทอนเนื่องจากการหักเหในหน่วยเดซิเบลที่เกิดขึ้นจากสิ่งกีดขวาง จะแสดงได้ดังสมการที่ (3.12)

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

เนื่องจากลักษณะของสมการลดทอนเนื่องจากการหักเหที่จะนำไปหาค่าอินทรีกรัลของเฟรสเนลนั้น ยากต่อการนำไปคำนวณ ดังนั้นในปี 1985 Lee จึงได้ทำการหาค่าคำตอบโดยประมาณในหน่วยของเดซิเบลไว้ดังสมการที่ (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)

เกิดขึ้นเมื่อตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน เช่น สิ่งกีดขวางต่าง ๆ มีขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น และจำนวนของสิ่งกีดขวางต่อหน่วยปริมาตรมีจำนวนมาก ในการวัดค่าการลดทอนของสัญญาณในสภาพแวดล้อมของคลื่นวิทยุ จะประกอบไปด้วยค่าการลดทอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะท้อนและการหักเหของคลื่นควบคู่กัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อคลื่นวิทยุตกกระทบพื้นผิวที่มีลักษณะขรุขระ พลังงานสะท้อนจะมีการแตกกระจายออกไปในทุกทิศทาง ดังนั้นสิ่งกีดขวางต่าง ๆ เช่น ต้นไม้ เสาไฟฟ้า และพื้นผิวขรุขระต่าง ๆ จะได้รับพลังงานที่กระจายออกมาสำหรับพื้นผิวที่มีความขรุขระมาก ๆ จะใช้การทดสอบโดยหลักการของ Rayleigh

## 3.2 หลักการแพร่กระจายคลื่น

ระบบโทรศัพท์ไร้สายจะสื่อสารผ่านทางคลื่นวิทยุ โดยการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในอากาศเป็นค่าส่วนกลับกำลังสองกับระยะทางตามทฤษฎี Inverse-square law ถ้ากำหนดให้การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการกระจายรอบทิศทาง (Omni - directional) เมื่อเครื่องส่งมีกำลังงานที่ส่งออกไปเป็น  $P_t$  การแพร่กระจายรอบทิศทางสามารถพิจารณาเป็นวงกลมรอบ ๆ แหล่งกำเนิดสัญญาณมีรัศมีเป็น  $ds$  เป็นค่าดิฟเฟอเรนเชียลของพื้นผิวพื้นผิว (Differential of surface) ทำให้กำลังงานที่จุดใด ๆ สามารถเทียบได้กับพื้นที่ส่วนเล็ก ๆ (A) ของพื้นผิวทรงกลม ค่าความหนาแน่นของกำลังงานแสดงดังสมการที่ (3.18)

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

โดยที่  $P_r$  เป็นกำลังที่รับได้ที่เครื่องรับต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบปกติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้างดังสมการที่ (3.19)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ

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

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

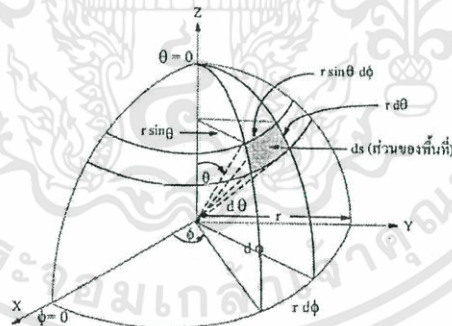
เมื่อ  $Z_0$  เป็นความต้านทานมีค่าเท่ากับ  $377.752 \Omega$

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

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

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

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



รูปที่ 3.6 การแผ่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซโทรปิก

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

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

เมื่อ  $G_r$  คืออัตราการขยายของสายอากาศเครื่องส่ง ดังนั้นความหนาแน่นของกำลังงานใน

ทิศทางของการแผ่กระจายหาได้จากสมการที่ (3.24)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

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

กรณีของสายอากาศใด ๆ ก็ตาม อัตราส่วนของการขยายสูงสุดต่อพื้นที่รับสัญญาณแสดงดังสมการที่ (3.26)

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

เมื่อ  $\lambda$  คือความยาวคลื่นของคลื่น,  $G_r$  คือ อัตราขยายของสายอากาศรับได้จากสมการในการแพร่กระจายคลื่นในอากาศของฟรีอิส (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 จะทำให้กำลังงานที่รับน้อยลง 4 เท่าจากค่าเดิม สมการลดทอนเนื่องจากระยะทาง (Path Loss) ในหน่วยเดซิเบล (dB) หาได้จากสมการที่ (3.28)

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

นิยามของการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นจะรวมอัตราขยายของสายอากาศหรือไม่ก็ได้ การแพร่กระจายคลื่นใน free – space กำลังที่รับที่ระยะทาง  $d$  จากตัวส่งหาได้จากสมการที่ (3.29) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

การแพร่กระจายคลื่นใน Free - Space ค่าการสูญเสียในการแพร่กระจายคลื่นหาได้จากสมการที่ (3.30)

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

เมื่อ  $f$  เป็นความถี่ของสัญญาณที่ส่ง - รับ และ  $K$  เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับหน่วยงาน  $d$  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) ของคลื่นที่ส่งสัญญาณมีค่าเท่ากับ  $120 \pi \Omega$

### 3.3 แบบจำลองของการแพร่กระจายคลื่น

แบบจำลองของการแพร่กระจายคลื่นแบ่งออกเป็น 3 แบบ [8-10] ดังนี้

**Empirical models** เป็นการอธิบายโดยใช้สมการที่ได้จากวิธีการทางสถิติจากผลการวัดหลายๆ ครั้ง ไม่มีรายละเอียดของสภาพแวดล้อม จะใช้ได้ง่ายและรวดเร็วโดยการประมาณค่า

**Deterministic model** ใช้พื้นฐานการประยุกต์ทางเทคนิคของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดตามสภาพแวดล้อม รายละเอียดของสิ่งก่อสร้าง และข้อมูลความสูงของพื้นดิน จากข้อมูลเหล่านี้ จะนำมาหาผลกระทบโดยใช้ทฤษฎีสนามแม่เหล็ก แบบจำลองนี้จะใช้วิธี ray - tracing

**Semiempirical หรือ Semideterministic models** เป็นสมการที่ได้จากการประยุกต์หลักการ Deterministic สร้างแบบจำลองสำหรับเมืองและภายในอาคาร บางครั้งปรับปรุงสมการใหม่ให้ถูกต้อง โดยการวัด ผลของสมการที่ใช้เป็นฟังก์ชันของพื้นที่บริเวณติดตั้งสายอากาศ หลักการนี้ต้องการข้อมูลสภาพแวดล้อมมากกว่าหลักการ Empirical แต่น้อยกว่าหลักการ Deterministic

### 3.4 แบบจำลองการลดทอนเนื่องจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นของเซลล์

การหาค่าการลดทอนของสัญญาณเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบระบบสื่อสารไร้สาย ความเที่ยงตรงในการหาค่าการลดทอน จะขึ้นอยู่กับกำหนัดค่าพารามิเตอร์ของระบบอย่างถูกต้อง ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ความสูงและจำนวนของสิ่งก่อสร้าง ฯลฯ ในเขตพื้นที่ตัวเมือง สิ่งก่อสร้างต่าง ๆ จะมีผลอย่างมากต่อการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณ ได้มีกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้พยายามหาลักษณะของการแพร่กระจายคลื่น โดยวิธีการทำนาย (Prediction Techniques) ที่จะทำการหาแบบจำลองการในการแพร่กระจายของคลื่น เทียบกับระดับของสัญญาณที่ใช้งานจริง โดยจะทำการศึกษาจากหลาย ๆ พื้นที่ ที่มีเทคนิคในการหาที่แตกต่างกันไปในแต่ละสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ค่าที่ได้จากวิธีการทำนายการแพร่กระจายของคลื่น จะเป็นวิธีการหนึ่งที่สำคัญมากในการวางแผนโครงข่ายระบบโทรศัพท์ไร้สาย ก่อนที่จะมีการติดตั้งระบบใช้งานจริงในพื้นที่ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.4.1 แบบจำลองของ Okumura [8]

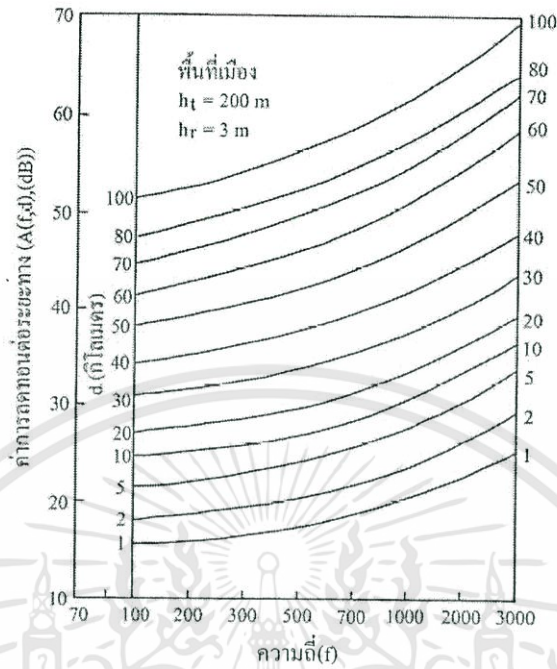
จะเป็นการหาค่าการลดทอนจากกราฟความแรงของสัญญาณที่วัดรอบ ๆ กรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ที่ความสูงของสายอากาศส่ง  $h_1$  เท่ากับ 200 เมตร และความสูงของสายอากาศรับ  $h_r$  เท่ากับ 3 เมตร ซึ่งสามารถที่จะกำหนดความสัมพันธ์ของการแพร่กระจายของคลื่น ได้ดังสมการที่ (3.33)

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

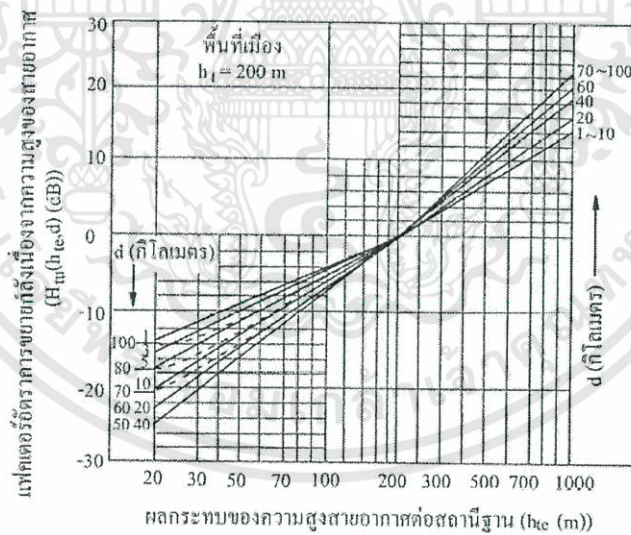
จากรูปที่ 3.7 แสดงค่า  $A(f, d)$  ซึ่งเป็นค่ากลางของการลดทอนของพื้นที่ในตัวเมืองที่มีพื้นที่ราบเรียบและมีความแตกต่างของระดับพื้นดินไม่เกิน 20 เมตร และค่า  $G(h_t)$  เป็นค่าอัตราขยายกำลัง เนื่องจากความสูงของสายอากาศส่ง ดังรูปที่ 3.8 จะได้สมการที่ (3.34)

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

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

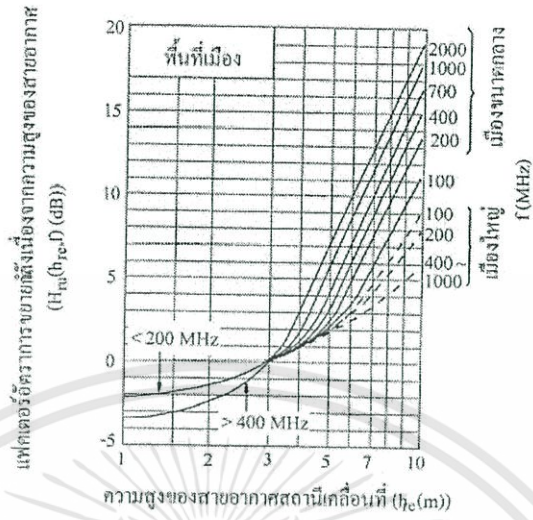


รูปที่ 3.7 ค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการลดทอนสัญญาณ  $A(f,d)$

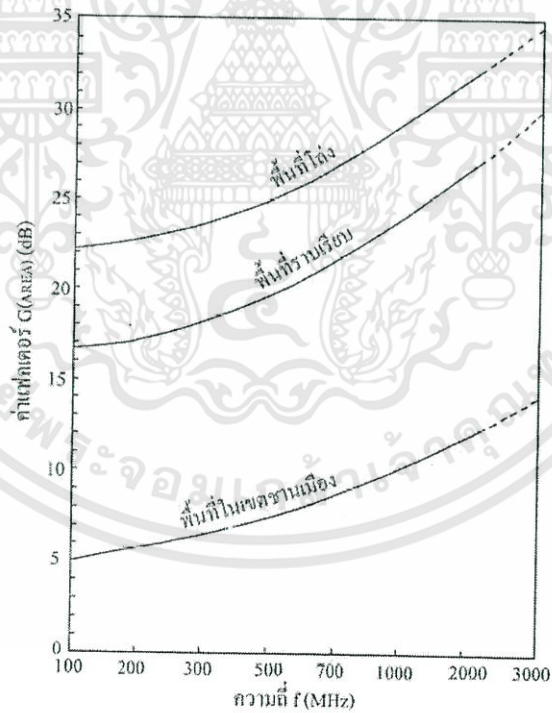


รูปที่ 3.8 ค่าอัตราการขยายกำลังจากผลความสูงของเสาอากาศส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ค่าอัตราขยายกำลังจากผลความสูงของเสาอากาศรับ



รูปที่ 3.10 ค่าแฟกเตอร์  $G_{(AREA)}$  ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของ  $A(f,d)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2 แบบจำลองของ Okamura – Hata

เป็น Empirical model ที่พัฒนาจากกราฟที่ได้จากการวัดสัญญาณในกรุงโตเกียวของ Okumura ที่ย่านความถี่ 150, 450 และ 900 MHz [9] แบบจำลองที่ใช้หาการสูญเสียในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ สำหรับสภาพแวดล้อมเมือง [12] จะมีการลดทอนเนื่องจากระยะทางการตั้งสมการที่ 3.36

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

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

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

แบบจำลองนี้ใช้สำหรับระบบสื่อสารเคลื่อนที่ที่เซลล์มีขนาดใหญ่ แต่ไม่สามารถใช้กับเซลล์ที่มีรัศมีต่ำกว่า 1 กิโลเมตร ที่ใช้ในระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล

### 3.4.3 แบบจำลอง COST 231 – Hata [13]

เป็นแบบจำลองที่ปรับปรุงจากแบบจำลองของ okumura – Hata ที่ครอบคลุมย่านความถี่ 1500 ถึง 2000 MHz เป็นแบบจำลองที่ปรับปรุงสำหรับระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลที่ย่านความถี่ 1900 MHz ค่าการลดทอนเนื่องจากระยะทางหาได้จากสมการที่ (3.42)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

### 3.4.4 แบบจำลอง Lee [9]

เป็น Empirical Model สำหรับไมโครเซลล์ในสภาพแวดล้อมเมืองและชานเมืองในการ  
 ทำนายกำลังที่รับได้  $P_r$  ในหน่วย dBm ดังแสดงในสมการที่ (3.43)

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

เมื่อ  $d$  คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศรับ - ส่ง หน่วยเป็นกิโลเมตร  $f$  คือ ความถี่หน่วยเป็น MHz  
 ตัวแปร  $A$  และ  $B$  จะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ที่ได้จากการวัดในหลาย ๆ เมืองที่มีลักษณะแตกต่าง  
 กันซึ่งใช้ค่าดังนี้

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

โดย  $n$  จะมีค่าดังนี้

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

พารามิเตอร์  $\alpha$  หาได้จาก

$$\alpha = \frac{h_1^2 h_r^m p_t g_t g_r}{3660} \quad (3.45)$$

เมื่อ  $h_t$  และ  $h_r$  คือความสูงของสายอากาศส่งและรับ หน่วยเป็นเมตร,  $P_t$  คือกำลังส่งหน่วยเป็นวัตต์,  
 $g_t$  และ  $g_r$  คืออัตราขยายของสายอากาศส่ง - รับ และ  $m$  ขึ้นอยู่กับความสูงของสายอากาศด้านรับมี  
 รายละเอียดดังนี้

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

### 3.4.5 แบบจำลอง McGeehan and Griffiths[9]

เป็น Empirical Model ที่ปรับปรุงจากสมการที่เกิดจากการสะท้อนพื้น การลดทอนจาก  
 ระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นดังสมการที่ (3.47)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

$h_b$  คือ ความสูงสายอากาศเครื่องส่ง  $h_m$  ความสูงสายอากาศเครื่องรับ  $f$  คือ ความถี่หน่วยเป็น MHz  $d$  คือ ระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ และ  $A$  คือค่าการเปลี่ยนแปลงตามสภาพแวดล้อมมีรายละเอียดดังนี้

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

### 3.4.6 แบบจำลอง Atefi และ Parson [9]

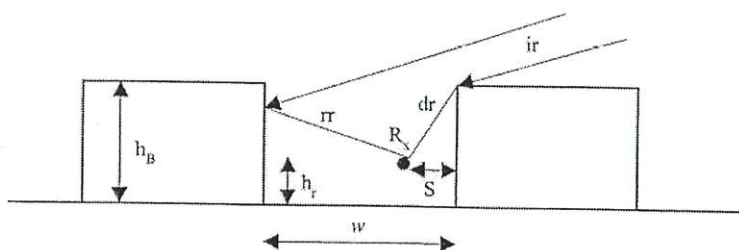
เป็น Empirical Model ทำนายการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นดังสมการที่ (3.48)

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

เมื่อ  $h_b$  คือ ความสูงสายอากาศส่ง  $h_m$  คือความสูงสายอากาศรับ  $f$  คือความถี่หน่วยเป็น MHz  $d$  ระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ และ  $L_D$  จำนวนการลดทอนที่เกิดจากการหักเห คำนวณโดยใช้หลักการ Epstein - Peterson

### 3.4.7 แบบจำลอง Ikegami [17]

เป็น Semi deterministic Model สำหรับสภาพแวดล้อมเมืองหาค่าได้จากแบบจำลอง GTD (Geometrical theory of diffraction) และเทคนิค PO (Physical optics) เป็นการประยุกต์กับสภาพเมืองในอุดมคติ ที่สิ่งก่อสร้างมีความสูงเป็นมาตรฐาน (uniform) จะสมมุติว่ามีการแพร่กระจายคลื่นแบบ NLOS และมีเฉพาะสองเส้นทาง 1. เส้นทางที่เกิดจากการเลี้ยวเบนที่เกิดจากขอบของอาคารสุดท้ายก่อนถึงเครื่องโทรศัพท์ (dr) 2. เส้นทางที่เกิดจากการสะท้อนที่เกิดจากผนังตึกถัดไป (rr) ภายในสภาวะดังกล่าวแสดงในรูปที่ 3.11 การลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นหาได้จากสมการที่ (3.49)



รูปที่ 3.11 สภาพแวดล้อมและทิศทางของคลื่นของแบบจำลอง Ikegami

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

เมื่อ  $f$  คือความถี่หน่วยเป็น MHz  $d$  คือ ระยะทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง  $w$  คือ ความกว้างของถนนที่ตำแหน่งเครื่องรับอยู่  $h_B$  คือความสูงของอาคาร  $h_r$  ความสูงสายอากาศของเครื่องรับ มุมที่เกิดจากแกนถนนทิศทางของคลื่น (ir) และ  $L_r$  คือ พารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์แต่ละด้านของอาคาร  $L_r$  ในย่าน UHF เท่ากับ 3.2

### 3.4.8 แบบจำลอง Walfisch and Bertoni [18]

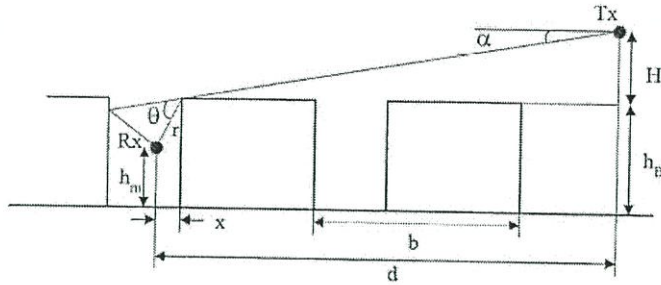
แบบจำลองนี้เรียกว่า diffraction screen เป็นแบบจำลอง Semideterministic ที่เหมาะสมสำหรับพื้นที่เมืองและชานเมือง สมการแพร่กระจายคลื่นมาจากแบบจำลองอูคคิตซของเมืองที่สิ่งก่อสร้างมีรูปแบบแถวขนาดมีความสูงและความกว้างเป็นมาตรฐาน แบบจำลองจะใช้เมื่อเครื่องส่งและเครื่องรับ อยู่ในตำแหน่ง NLOS สนามจะแพร่กระจายจากตัวส่งไปยังสายอากาศตัวรับ ได้รับคลื่นหักเหจากอาคาร การประมาณสนามที่เครื่องรับ แถวคือแบบจำลองที่กำหนดการดูดกลืนของส่วนที่ทำให้เกิดการหักเหจะส่งผลต่อการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นใกล้เคียงกับของอาคาร 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  $d$  คือ ระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับหน่วยเป็นกิโลเมตร คือค่าเฉลี่ยความสูงของอาคารรับ - ส่งที่คาดว่าเป็นสูงของอาคารรอบ ๆ และ  $A$  คือ ส่วนที่ส่งผลมาจากอาคารหาได้จากสมการที่ (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)  $b$  คือ ความกว้างระหว่างแถวคังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 สภาพแวดล้อมและทิศทางของคลื่น

### 3.4.9 แบบจำลอง Xia และ Bertoni [9]

แบบจำลอง Walfisch และ Bertoni จะปรับปรุงสายอากาศเครื่องส่งต่ำกว่าหลังคาแบบจำลองนี้ต้องการระยะทางเครื่องส่งและแผ่นของขอบที่ใกล้ที่สุดที่คล้ายกับระยะทางระหว่างแถวของอาคาร 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)  $k$  คือจำนวนเครื่อง (เมตร-1)  $\phi$  คือมุมที่เกิดจากแกนนอนกับทิศทางคลื่นในเส้นทางตรงระหว่างสายอากาศรับ - ส่ง  $\theta$  คือ มุมที่เกิดจากคลื่นที่หักเหกับแนวนอน และ  $D(\theta)$  คือสัมประสิทธิ์การหักเห UTD หาได้จากสมการที่ (3.54)

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

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

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

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

เทอมที่ 3 ( $L_2$ ) ได้จากการประยุกต์ของ PO สำหรับหลาย ๆ คลื่นที่หักเห ผลที่ได้จากสมการ (3.57)

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

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

$g_p$  คือ พารามิเตอร์ขนาดน้อยที่สุดหาได้จาก

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

เมื่อ  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่น จากสมการที่ (3.58) จะได้  $g_p$  ในช่วง  $0.01 < g_p < 1.0$  ซึ่งเหมาะสมกับไมโครเซลล์ แบบจำลองนี้สมมุติว่าพื้นเรียบ

#### 3.4.10 แบบจำลอง COST – 231 – Walfisch – Ikegami Model [13]

เป็นแบบจำลอง Semiderterministic เหมาะกับสภาพแวดล้อมเมืองโดยใช้แบบจำลองพื้นฐาน Walfisch – Bertoni และแบบจำลอง Ikegami เป็นการรวม Empirical model ที่ปรับปรุงสำหรับเมืองในทวีปยุโรปที่ไม่กำหนดตำแหน่งของสายอากาศส่งที่เกี่ยวข้องกับระดับหลังคา ตามแบบจำลอง Walfisch – Bertoni การสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่นคำนวณจากผลรวมสามส่วน ดังแสดงในสมการที่ (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)

$$L_1 = -16.9 - 10 \log \left[ 1 + 20 \log \left( \frac{h_R - h_m}{h_R} \right) \right] + L_{11}(\phi) \quad (3.61)$$

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

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

เมื่อ  $\phi$  คือมุมระหว่างแกนถนนกับเส้นจากสายอาคารรับ – ส่ง เทอมที่ 3 มีรายละเอียดดังนี้

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

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

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

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

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

เมื่อ  $h_B$  คือความสูงของสายอากาศส่ง  $d$  คือระยะทางระหว่างศูนย์กลางของแนวข้างเคียงของอาคารและ  $k_{f1}$  เท่ากับ 1.5 สำหรับบริการกลางเมือง และ 0.7 สำหรับพื้นที่อื่น ๆ แบบจำลองนี้ใช้รูปแบบ NLOS ในกรณี LOS การสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่นเหมือนใน free-space แต่มีสัมประสิทธิ์ต่างกันตามผลการวัด

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

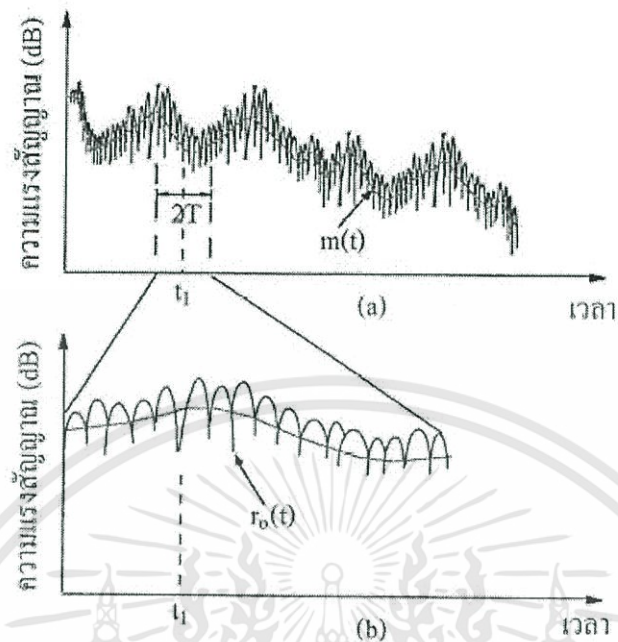
เมื่อ  $d$  มากกว่า 0.02 กิโลเมตร

### 3.5 รูปแบบของสัญญาณรับ – ส่ง ระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ

ถ้า  $r(t)$  เป็นสัญญาณที่รับได้ของเครื่องรับดังแสดงในรูปที่ 3.13 เราสามารถจำลองคุณสมบัติของสัญญาณได้เป็น 2 ส่วน คือ  $m(t)$  และ  $r_0(t)$  ซึ่งอาจกล่าวได้เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติฟิสิกส์อันเป็นการคูณกันของสัญญาณ 2 ชนิด จะเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$r(t) = m(t) r_0(t) \quad (3.69)$$

เมื่อ  $m(t)$  เป็นค่าเฉลี่ยของการจางหายระยะยาว (Long-term fading) หรือล๊อกรนอร์มัลเฟดดิ้ง (Lognormal fading) และการเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับ ส่วน  $r_0(t)$  ที่เรียกว่า มัลติพาทเฟดดิ้ง (Multipath fading) เป็นการจางหายระยะสั้น (Short-term fading) หรือเรย์ลีย์เฟดดิ้ง (Rayleigh fading) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการสะท้อนของคลื่นจากอาคารที่อยู่รอบ ๆ หรือสิ่งปลูกสร้างอื่น ๆ



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างสัญญาณการจางหายของคลื่นวิทยุ

(a) สัญญาณการจางหายที่เครื่องรับ

(b) สัญญาณการจางหายระยะสั้น

### 3.5.1 การจางหายระยะยาว

การจางหายของสัญญาณแบบ Long term จะเปลี่ยนแปลงตามสภาพพื้นผิวของคพื้นดินระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับได้แก่ ภูเขา แม่น้ำ เป็นต้น โดยการสะท้อนจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่อยู่ในระยะไกล จากรูปที่ 3.13(a) จะเห็นได้ว่าขณะที่มีการจางหายที่มีลักษณะถี่มากก็จะมี การจางหายที่มีลักษณะห่างอยู่ด้วย ซึ่งเรียกว่า การจางหายระยะยาวหรือ  $m(t)$  หาได้ดังสมการที่ (3.69)

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

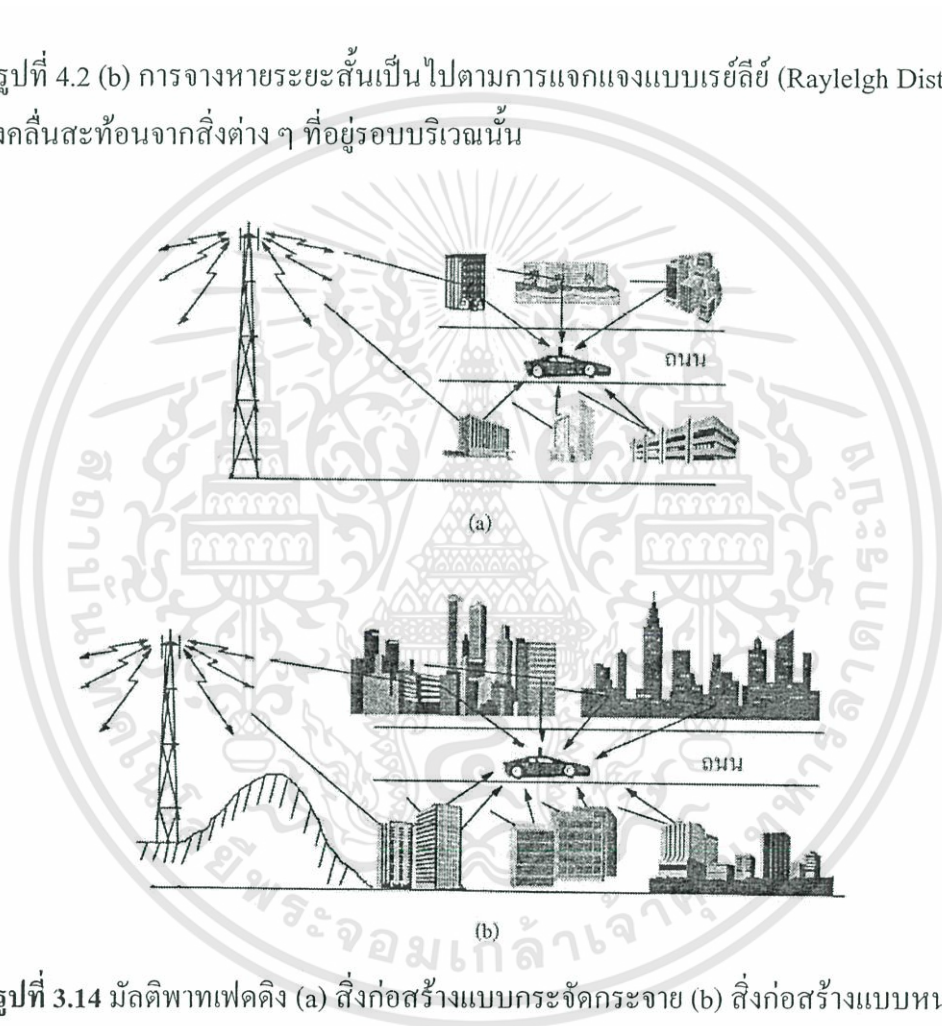
โดยที่ค่า  $2T$  คือช่วงเวลาสำหรับคิดค่า  $r(t)$  เฉลี่ย และค่าของ  $T$  จะแสดงอัตราการเกิดจางหายของ  $r(t)$

### 3.5.2 การจางหายระยะสั้น

การจางหายของสัญญาณแบบ Short term จะเกิดเนื่องจากการสะท้อนและกระเจิงของคลื่นเมื่อคลื่นกระทบสิ่งก่อสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้นหรือสิ่งกีดขวางที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ หรือเรียกว่า มัลติพาทเฟดดิ้ง ค่า  $r_0(t)$  หาได้จากสมการที่ (3.69)

$$r_0 \text{ (หน่วยเป็น dB)} = r(t) - m(t) \quad (3.69)$$

จากรูปที่ 4.2 (b) การจางหายระยะสั้นเป็นไปตามการแจกแจงแบบเรย์ลีย์ (Rayleigh Distribution) มีเพียงคลื่นสะท้อนจากสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบบริเวณนั้น



รูปที่ 3.14 มัลติพาทเฟดดิ้ง (a) สิ่งก่อสร้างแบบกระจัดกระจาย (b) สิ่งก่อสร้างแบบหนาแน่น

### 3.5.3 การแจกแจงแบบเรย์ลีย์และแบบรีเซียน (Rayleigh and Rician Distribution)

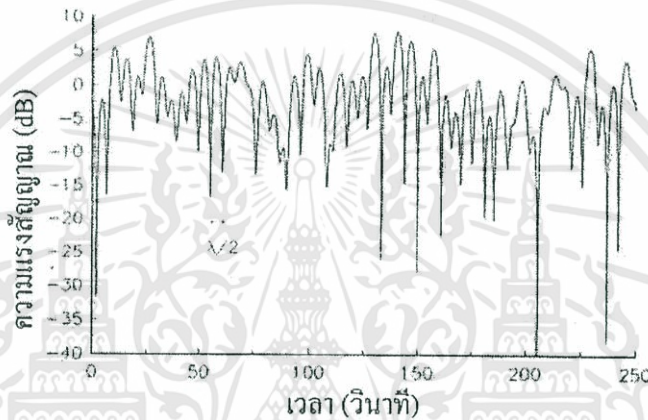
การจางหายแบบเรย์ลีย์ หรือ มัลติพาทเฟดดิ้งในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ สัญญาณคลื่นวิทยุที่ได้รับได้ประกอบด้วยคลื่นทางตรง และคลื่นที่สะท้อนจากสิ่งก่อสร้าง ทำให้เกิดคลื่นในหลายเส้นทางดังแสดง

ในรูปที่ 3.14 คลื่นเหล่านี้จะรวมกันทำให้รูปแบบสัญญาณที่ไม่แน่นอนที่เครื่องรับ การจางหายที่เกิดขึ้นคือ มัลติพาทเฟดดิ้ง จะเกิดมากขึ้นสภาพสิ่งก่อสร้างเป็นแบบหนาแน่นเพราะจะมีจำนวนพาทของคลื่นมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.14(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3.1 การแจกแจงแบบเรย์ลีย์

การแจกแจงแบบเรย์ลีย์ เป็นการอธิบายในเชิงสถิติ ของสัญญาณมัลติพาธเฟดดิ้ง จะทำให้ทราบถึงค่าสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian noise) โดยการแจกแจงแบบเรย์ลีย์จะแสดงดังรูปที่ 3.15 ซึ่งแสดงการแจกแจงแบบเรย์ลีย์ของสัญญาณฟังก์ชันเวลา โดยที่การแจกแจงแบบเรย์ลีย์มีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (PDF: Probability Density Function) ดังสมการที่ (3.70)

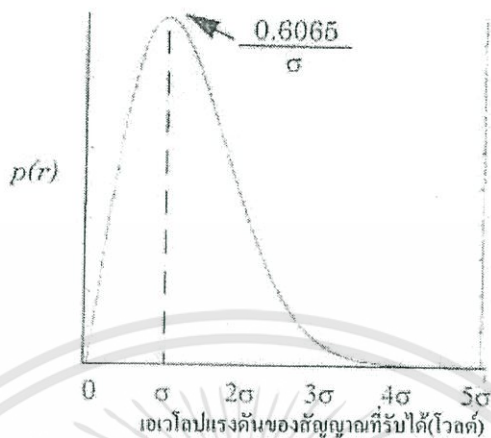


รูปที่ 3.15 เอนVELOIP ของสัญญาณที่จางหายแบบเรย์ลีย์ที่ความถี่ 900MHz

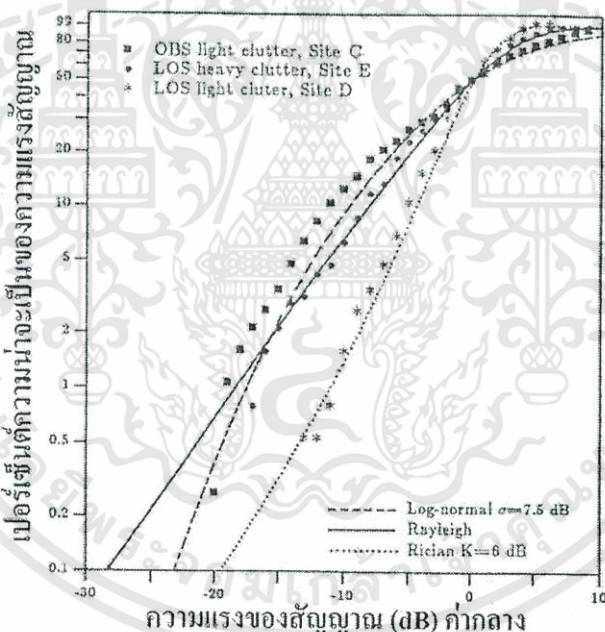
$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\delta^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\delta^2}\right) & (0 \leq r < \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (3.70)$$

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

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



รูปที่ 3.16 ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น(CDF) ของการแจกแจงแบบเรย์ลีย์



รูปที่ 3.17 การแจกแจงของการจางหายทั้ง 3 พื้นที่ ที่ได้จากการวัดรวมทั้งการแจกแจงแบบเรย์ลีย์รีเซียนและล็อกนอร์มอล

ค่าเฉลี่ย  $r_{mean}$  ของการแจกแจงแบบเรย์ลีย์หาได้จาก

$$r_{mean} = E(r) = \int_0^{\infty} rp(r)dr = \sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}} = 1.533\sigma \tag{3.72}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าความแปรปรวนของการแจกแจงแบบเรย์ลีย์  $\sigma_r^2$  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 ดังนั้นเราจะได้อำนาจของ r

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

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

ดังนั้นค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของสัญญาณเรย์ลีย์เฟดดิ้งจะมีค่าต่างกันเพียง 0.55 dB บ่อยครั้งที่ในทางปฏิบัติเราต้องใช้ค่ามัธยฐาน เพราะปกติแล้วข้อมูลการจางหายที่วัดได้จะมาจากภาคสนาม จะไม่สามารถกำหนดค่าที่แน่นอนได้ จะใช้ค่ามัธยฐานแทนค่าเฉลี่ยเพราะง่ายที่เปรียบเทียบการแจกแจงของจางหายที่แตกต่างซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยนั้นกว้างมาก รูปที่ 3.16 แสดงค่า PDF ของการแจกแจงแบบเรย์ลีย์ และจะได้ค่า CDF ดังในรูปที่ 3.17

### 3.5.3.2 การแจกแจงแบบรีเซียน

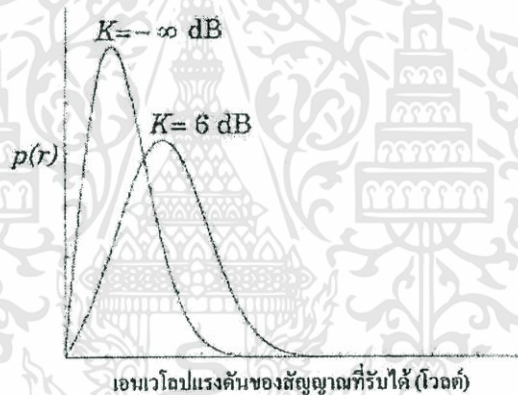
เมื่อสัญญาณที่รับได้ประกอบด้วยส่วนของสัญญาณในทิศทางหลักที่มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงคล้ายกับสัญญาณในเส้นทางแนวสายตา การจางหายที่ได้จะมีการแจกแจงแบบรีเซียน สัญญาณมัลติพาทที่มาถึงแต่ละสัญญาณจะมีทิศทางที่ต่างกันมารวมกับสัญญาณที่มาในทิศทางหลัก สัญญาณทางด้านรับจะมีผลจากการรวมกันโดยตรงของมัลติพาทแรนดอม ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับรูปคลื่นไซน์ (Sine wave) ของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุณหภูมิ (Thermal noise) ผลกระทบของสัญญาณหลักที่มาถึงกับสัญญาณมัลติพาทจำนวนมากที่ระดับสัญญาณต่ำกว่า ทำให้เกิดการแจกแจงแบบรีเซียนสูงขึ้น ถ้าสัญญาณหลักต่ำลงทำให้ระดับใกล้เคียงรับสัญญาณรบกวน จะทำให้การแจกแจงบางส่วนเหมือนกับการแจกแจงแบบเรย์ลีย์ ดังนั้นการแจกแจงแบบเรย์ลีย์เกิดจากการแจกแจงแบบรีเซียนถ้าสัญญาณในเส้นทางหลักมีค่าต่ำมากๆ การแจกแจงแบบรีเซียนหาได้ดังสมการที่ (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  $I_0,0$  คือฟังก์ชันเบสเซล (Bessel function) แบบตัดแปลงชนิดที่ 1 อันดับที่ 0 การแจกแจงแบบรีเซียนมีบ่อยครั้งที่อธิบายโดยใช้พารามิเตอร์  $K$  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 คือ รีเซียนแฟกเตอร์ (Ricean factor) ถ้าการแจกแจงแบบรีเซียนเป็นไปอย่างสมบูรณ์เมื่อ  $A \rightarrow 0$  แล้ว  $K \rightarrow -\infty$  และถ้าสัญญาณจากเส้นทางหลักมีแอมพลิจูด การแจกแจงแบบรีเซียน ก็จะกลายเป็นการแจกแจงแบบเรย์เลย์ดังแสดงในรูปที่ 3.18 .



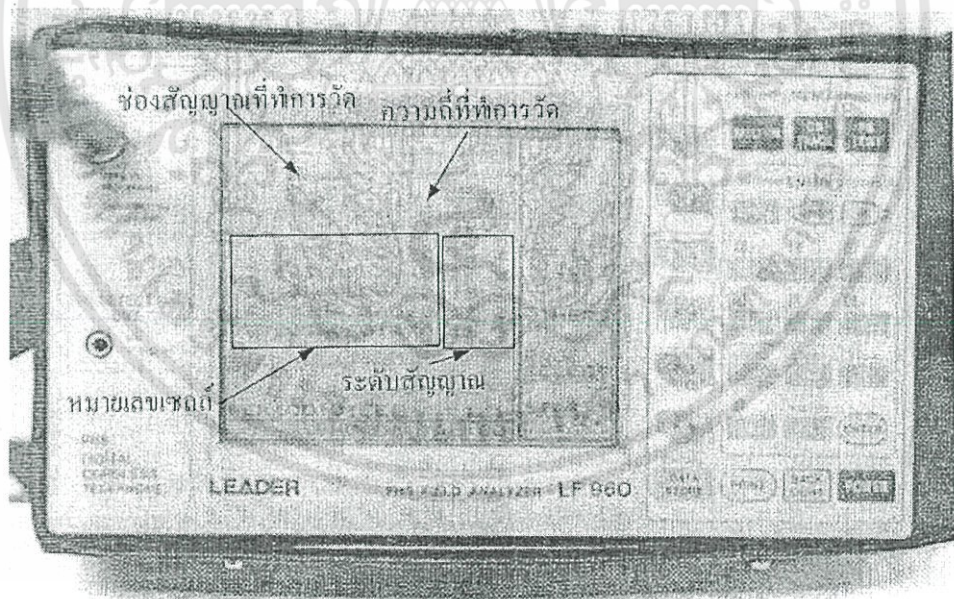
รูปที่ 3.18 ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของการแจกแจงแบบรีเซียนโดยที่  $K = -\infty$  (เรย์เลย์) และ  $K = 6 \text{ dB}$  สำหรับ  $K \geq 1$  ค่า PDF จะใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยเกาส์เซียน

## บทที่ 4

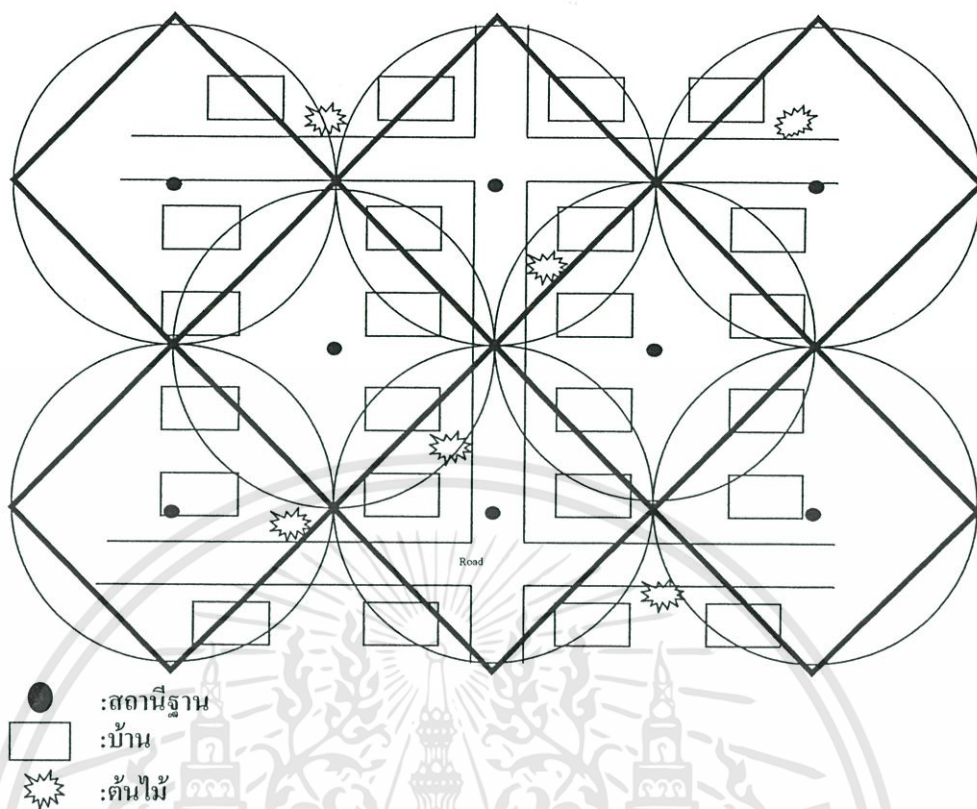
# การออกแบบเพื่อวางตำแหน่งเซลล์ของระบบไวร์เลสโลคัลลูป โดยใช้ PHS และการแจกแจงเชิงสถิติ

### 4.1 การหาตำแหน่งเพื่อวางเซลล์ของระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล PHS

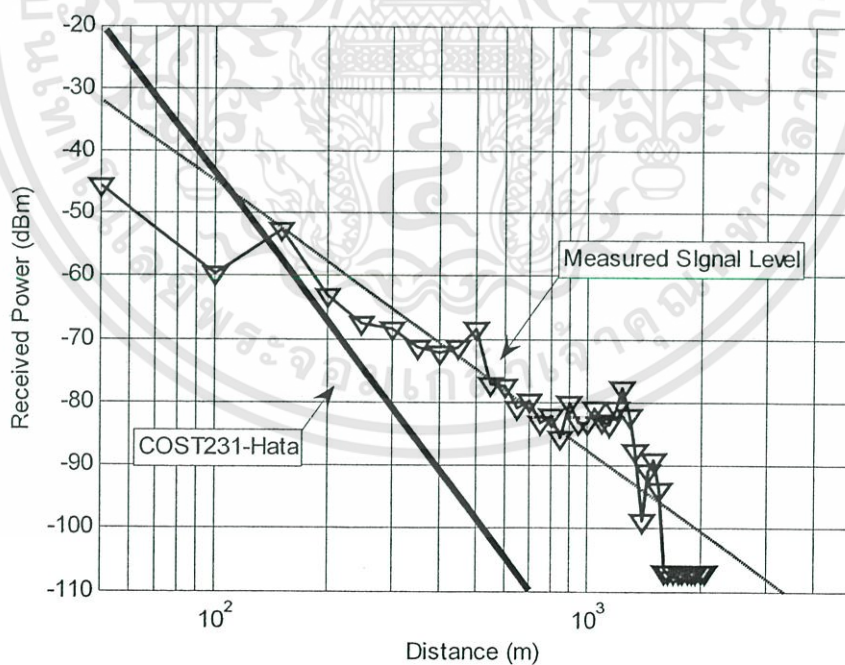
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการติดตั้งสถานีเซลล์ในพื้นที่ทั้ง 2 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ชานเมือง และพื้นที่ชนบท เพื่อให้บริการในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยติดตั้งเซลล์ทดสอบภายใต้เงื่อนไขดังต่อไปนี้คือ สถานีเซลล์มีกำลังส่ง 200 mW (-6.98 dB) ใช้สายอากาศที่มีอัตราขยาย 10dBi จะได้  $P_r$  มีค่าประมาณ 3dBW EIRP ติดตั้งที่ความสูง  $h_{cs}$  เท่ากับ 4.5 เมตร จากนั้นทำการวัดรวบรวมผลด้วยเครื่อง LEADER PHS Field Analyzer LF 960 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ทำการทดสอบที่ช่องสัญญาณที่ 76 ซึ่งเป็นช่องสัญญาณควบคุมที่ใช้ในการข้ามเซลล์ ของบริษัทเทเลคอมเอเชียคอเปอร์เรชั่น จำกัด (มหาชน) ที่ความถี่ 1917.350 MHz



รูปที่ 4.1 เครื่องมือวัดค่าระดับสัญญาณที่ใช้ในการวัด



รูปที่ 4.2 รูปพื้นที่และการติดตั้งเซลล์ทดสอบในรูปแบบเพชร



รูปที่ 4.3 รูประดับสัญญาณที่รับได้เปรียบเทียบกับค่าการคำนวณ โดยโมเดล COST 231-Hata

เมื่อนำค่าการคำนวณด้วยโมเดล COST 231-Hata ดังสมการ

$$L = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_t - a(h_{cs}) + (44.9 - 6.55 \log h_t) \log d + CM \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่นิยมใช้การออกแบบวางเซลล์สำหรับระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจะมีความแตกต่างกันมากโดยค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโมเดล COST 231-Hata จะมีการลดทอนต่ำกว่าการลดทอนในความเป็นจริง ส่วนค่าที่ได้จากการวัดจะมีความชันของกราฟมากกว่าถ้านำไปออกแบบจะได้ระยะทางที่สั้นกว่าความเป็นจริง ส่วนค่าที่ได้จากการวัดจะมีความชันมากกว่าแสดงว่า มีการลดทอนต่ำกว่าการลดทอนใน COST 231-Hata ถ้านำไปออกแบบจะได้ระยะทางสั้นมากกว่าความเป็นจริง ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอโมเดลการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นในย่านความถี่ 1900 MHz ของระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (PHS) เพื่อนำมาใช้ในการหาตำแหน่งในการติดตั้งเซลล์ โดยสร้างแบบจำลองการแผ่กระจายคลื่นจากผลการวัดทดสอบซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 4.1.1 สมการการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นที่นำเสนอ

การหาค่าระดับสัญญาณที่ได้จากการแพร่กระจายคลื่น เมื่อพิจารณาค่ากำลังงานประสิทธิผลของการแพร่กระจายคลื่น (ERP: Effective Radiated Power) ซึ่งเท่ากับกำลังงานของเครื่องส่งคูณกับอัตราขยายของสายอากาศ กำลังงานประสิทธิผลในการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศไอโซโทรปิก (EIRP : Effective Isotropic Radiated Power) เมื่อมีกำลังส่งเป็น  $P_r$  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  $P_r$  หาได้ผลคูณของความหนาแน่นของกำลังงานที่รับได้กับพื้นที่ในการรับสัญญาณดังสมการ

$$P_r = P_u * A_{eff} \quad (4.2)$$

$$P_r (dBm) = P_u (dBm / m^2) * A_{eff} (m^2) \quad (4.3)$$

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

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

จาก [2-3] ความหนาแน่นของกำลังงานที่รับได้จะหาได้จากความแรงของสัญญาณที่รับได้หารด้วยอิมพีแดนซ์เสมือนของอากาศจะเขียนสมการที่ (4.4) ได้ดังสมการที่ (4.5)

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

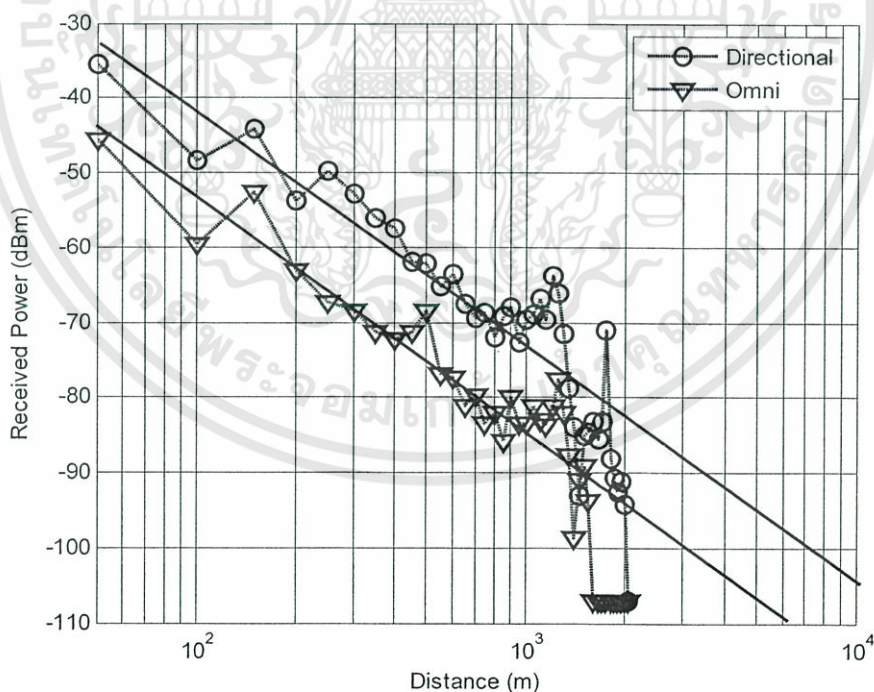
เมื่อทำการลดทอนตามระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นเป็นความแตกต่างระหว่างกำลังการแพร่กระจายคลื่นที่ใช้สายอากาศไอโซโทรปิกกับกำลังที่รับได้ จากสมการที่ (3.28) แทนด้วยสมการที่ (4.5) จะได้ว่า

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

$$P_T(\text{dBW : EIRP}) = P_t G_t = P_t(\text{dB}) + G_t(\text{dBi}) \quad (4.7)$$

การศึกษาคาดสอบ โดยใช้สถานีเซลล์มือถือกำลังส่ง 200 mW (-6.98 dB) สายอากาศมีอัตราขยาย 10 dBi จะได้ว่า  $P_r$  จากการคำนวณตามสมการที่ (4.7) ประมาณ 3 dBW : EIRP จากสมการที่ (4.7) จะได้ว่า

$$L(\text{dB}) = 148.8 - 10 \log\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) - E(\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}) \quad (4.8)$$



รูปที่ 4.4 ผลที่ได้จากการวัดกับเส้นกราฟที่ลากที่ค่าเฉลี่ยของผลการวัดด้วยสายอากาศ

แบบ Directional Antenna and Omni Antenna

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความแรงของสัญญาณ  $E (dB\mu V / m) = \gamma + \beta \log d (km)$ ,  $\lambda, \beta$  เป็นค่าคงที่ ความชันของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.4 จากเส้นกราฟที่ทำการลากที่ค่าเฉลี่ยของผลการวัดสามารถกำหนดได้จากสมการของระยะทางหน่วยเป็นกิโลเมตร จะได้  $L = P_i - P_r$  เมื่อ  $d = 1 km$  จะได้ค่าของ  $L = 92 dB$  เขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

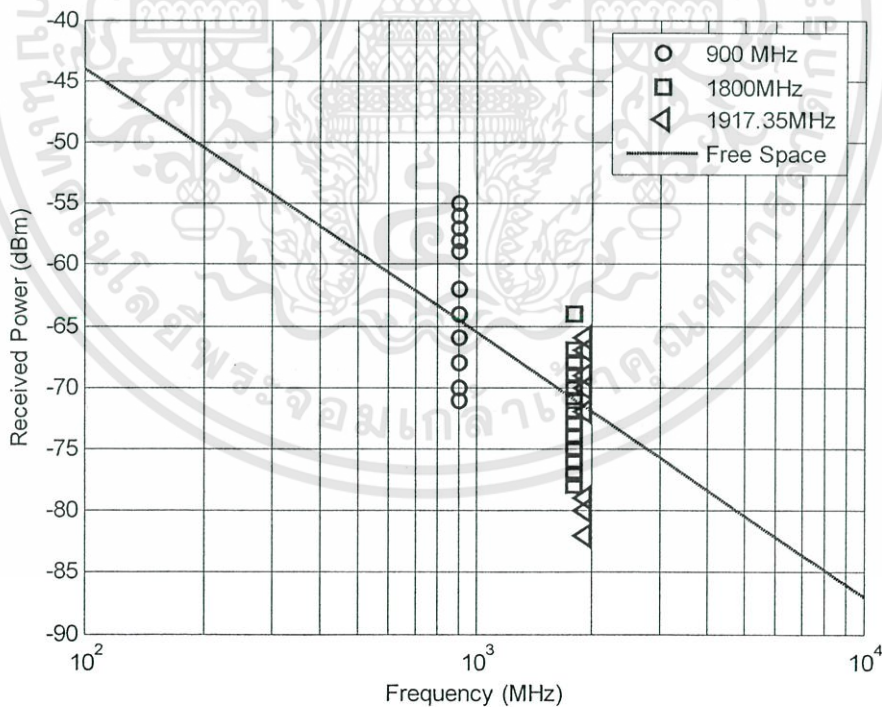
$$L = A + B \log d (km) \quad (4.9)$$

$$A = 148.8 - 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - \gamma \quad (4.10)$$

$$B = -\beta = 44.44 dB / km \quad (4.11)$$

เมื่อ  $A$  เป็นค่าการลดทอนที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร  $d = 1 km$  และ  $B$  ค่าความชันของเส้นกราฟแทนสมการที่ (4.8) ลงในสมการที่ (4.7) และนำสมการ (4.7) มาเปรียบเทียบกับสมการ (4.9) จะค่าของ  $A$  และ  $B$  ดังสมการ (4.10) และสมการ (4.11) โดย  $L = A$  (92 dB) จากความชันของกราฟการลดทอนของความถี่ดังรูปที่ 4.5 คือ  $23.33 \log_{10} f_c$  จะได้

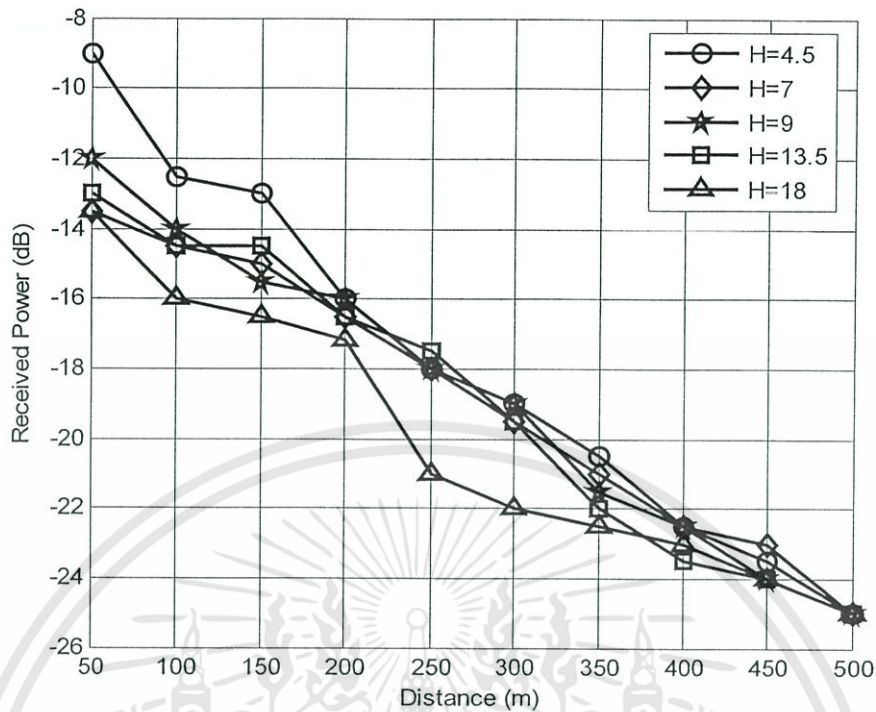
$$A = 92 = 15.4 + 23.33 \log_{10} f_c \quad (4.12)$$



รูปที่ 4.5 ค่าการลดทอนจากความถี่

จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของการลดทอนที่เกิดจากความสูงของการติดตั้งเซลล์สายอากาศมีอัตราขยาย 10 dBi ที่ความสูง 4.5 เมตรถึง 18 เมตร.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ผลการวัดทดสอบเซลล์ เมื่อเซลล์ใช้สายอากาศอัตรายาย 10 dBi

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงในการติดตั้งสถานีเซลล์ จะเห็นได้ว่าเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น สัญญาณที่รับได้จะมีค่าลดลงแสดงว่ามีการลดทอนมากขึ้น โดยเมื่อความสูงของเพิ่มจาก 4.5 เมตร จนถึง 18 เมตร จะมีการลดทอนเพิ่มขึ้น 12 dB จึงสามารถเขียนเป็นสมการดังนี้

$$a(h_{cs}) = 10 \log h_{cs} - 6.54, \text{ สายอากาศอัตรายาย } 7 \text{ dBi} \quad (4.13)$$

$$a(h_{cs}) = 2(10 \log h_{cs} - 6.54), \text{ สายอากาศอัตรายาย } 10 \text{ dBi} \quad (4.14)$$

จะได้สมการของการลดทอนตามระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นสำหรับระบบ โทรศัพท์พื้นฐานพกพาบุคคล จะได้สมการดังแสดงในสมการ

$$L = 15.4 + 23.33 \log f_c (\text{MHz}) + 44.44 \log d (\text{km}) - a(h_{cs}) \quad (4.15)$$

เมื่อ  $f_c$  คือ ความถี่ใช้งาน (1917.350 MHz)

$d$  คือ ระยะทางระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่งในช่วง 100 เมตร ถึง 1 กิโลเมตร

$a(h_{cs})$  คือ แฟกเตอร์แก้ไขเมื่อความสูงของสถานีเซลล์เปลี่ยนแปลง

$$\text{สายอากาศอัตรายาย } 7 \text{ dBi}, a(h_{cs}) = 10 \log h_{cs} - 6.54$$

$$\text{สายอากาศอัตรายาย } 10 \text{ dBi}, a(h_{cs}) = 2(10 \log h_{cs} - 6.54)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมการสุดท้ายสำหรับสมการของการลดทอนตามระยะทางในการแพร่กระจายคลื่น สำหรับระบบโทรศัพท์พื้นฐานพหุขานพหุคณคลPHS

$$15.4 + 23.33 \log f_c (\text{MHz}) + 44.44 \log d (\text{km}) - a(h_{cs}) + F_F = P_T (\text{dBW} : \text{EIRP}) - P_r (\text{dBm})$$

โดยค่าของเฟดดิ้งแฟกเตอร์ที่ได้จากวัดทดสอบเพื่อให้สมการสมบูรณ์จะแสดงให้เห็นในหัวข้อต่อไป

## 4.2 แบบจำลองการแจกแจงเชิงสถิติ (Fading Statistical Distribution Model)

การคำนวณเชิงสถิติจะมีพารามิเตอร์หลายตัวด้วยกันที่น่าเชื่อถือ และวิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยม คือการหาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (PDF: Probability Density Function) และฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (CDF: Cumulative Distribution Function) [19] โดยจะทำการเปรียบเทียบกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละเขตพื้นที่ โดยการแจกแจงตามระดับสัญญาณที่รับได้ในหน่วยเดซิเบล เพื่อหาความเหมาะสมในการออกแบบโมเดลในการวางตำแหน่งเซลล์ ซึ่งสมการของฟังก์ชันการแจกแจงที่มีดังนี้

### 4.2.1 การแจกแจงแบบเกาส์เซียน (Gaussian Distribution)

การกระจายของตัวแปรแรมดัมมักจะอยู่ในรูปแบบของการแจกแจงแบบเกาส์เซียนหรือสามารถประมาณค่าเป็นแบบเกาส์เซียนได้ โดยที่ฟังก์ชันความหนาแน่นแบบเกาส์เซียนอธิบายได้โดยสามารถหาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นได้

$$p(r) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(r-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4.16)$$

เมื่อค่า  $\mu$  มีค่าที่สมมาตร,  $\sigma^2$  เป็นค่าของวาเรียนซ์ จะได้ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม.

$$\begin{aligned} p(R) &= \int_{-\infty}^r p(r) du = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^r \exp\left(-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \\ &= \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{x-\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right) \end{aligned} \quad (4.17)$$

โดยสามารถหาค่าฟังก์ชันความผิดพลาด  $\operatorname{erf}$  คือ

$$\operatorname{erf}(r) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^r \exp(-t^2) dt \quad (4.18)$$

#### 4.2.2 การแจกแจงแบบเรย์ลีย์ (Rayleigh Distribution)

การแจกแจงแบบเรย์ลีย์เป็นการอธิบายในเชิงสถิติของสัญญาณมัลติพาทเฟดดิ้ง จะทำให้ทราบถึงค่าสัญญาณรบกวนแบบเกาส์เซียน (Gaussian noise) โดยการแจกแจงแบบเรย์ลีย์ มักจะไม่นิยมนำมาแสดงปรากฏการณ์ของการจางหายโดยพื้นฐาน ซึ่งแสดงการแจกแจงแบบเรย์ลีย์ของสัญญาณฟังก์ชันเวลา โดยที่การแจกแจงแบบเรย์ลีย์มีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นดังสมการ

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & , 0 \leq r \leq \infty \\ 0 & , r < 0 \end{cases} \quad (4.19)$$

ซึ่ง  $r$  คือระดับของแอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้และ  $\sigma^2$  คือพารามิเตอร์ของการแจกแจงแบบเรย์ลีย์ (กำลังงานรับเฉลี่ย) ค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณที่รับได้จะต่ำกว่าระดับของ  $r$  โดยค่าของ CDF หาได้จาก.

$$p(R) = P_r(r \leq R) = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4.20)$$

#### 4.2.3 การแจกแจงแบบรีเซียน (Rician Distribution)

การแจกแจงแบบรีเซียนรู้จักกันในชื่อของการแจกแจงแบบนาคากามิ-เอิน (Nakagami-n) โดยสามารถอธิบายได้ด้วยสมการเดียวกัน เมื่อสัญญาณที่รับได้ประกอบด้วยส่วนของสัญญาณในทิศทางหลักที่มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงคล้ายกับสัญญาณในเส้นทางแนวสายตา การจางหายที่ได้จะมีการแจกแจงแบบรีเซียน สัญญาณมัลติพาทที่มาถึงแต่ละสัญญาณจะมีทิศทางที่ต่างกันมารวมกับสัญญาณที่มาในทิศทางหลักสัญญาณทางด้านรับจะมีผลจากการรวมกันโดยตรงของมัลติพาทเรนด์อม ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับรูปคลื่นซายน์ของสัญญาณรบกวนที่เกิดจากอุณหภูมิ ผลกระทบของสัญญาณหลักที่มาถึงกับสัญญาณมัลติพาทจำนวนมากที่ระดับสัญญาณต่ำกว่า ทำให้เกิดการแจกแจงแบบรีเซียนสูงขึ้น ถ้าสัญญาณหลักต่ำลงทำให้ระดับใกล้เคียงรับสัญญาณรบกวน ก็จะทำให้การแจกแจงบางส่วนเหมือนกับการแจกแจงแบบเรย์ลีย์ ดังนั้นการแจกแจงแบบเรย์ลีย์เกิดจากการแจกแจงแบบรีเซียนถ้าสัญญาณในเส้นทางหลักมีค่าต่ำมากๆ PDF ของการแจกแจงแบบรีเซียนหาได้ดังสมการ

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2+A^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right) & , A \geq 0, r \geq 0 \\ 0 & , r < 0 \end{cases} \quad (4.21)$$

โดยที่ค่า  $A$  คือระดับสัญญาณสูงสุดในส่วนของ LOS และ  $I_0(\bullet)$  เป็นฟังก์ชันของเบสเซล (modified Bessel function) ที่อันดับ 0 และ 1 ตามลำดับ การแจกแจงแบบรีเชียนนิยมนิยามอธิบายด้วยตัวแปร  $K$  จากกำลังงานสัญญาณที่วัดได้หารด้วยค่าความแปรปรวนของมัลติพาร์ทคือ  $K = A^2/(2\sigma^2)$  คือ  $A \rightarrow 0, K \rightarrow \infty$  การแจกแจงแบบรีเชียนจะมีคุณสมบัติเหมือนกับการแจกแจงแบบเรย์ลีย์ ค่า  $K$  (dB) หาได้จาก.

$$K(\text{dB}) = 10 \log \left[ \frac{A^2}{2\sigma^2} \right] \quad (4.22)$$

#### 4.2.4 การแจกแจงแบบไคสแควร์ (Chi-square Distribution)

ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น PDF ของการแจกแจงแบบไคสแควร์ หาได้จากสมการ

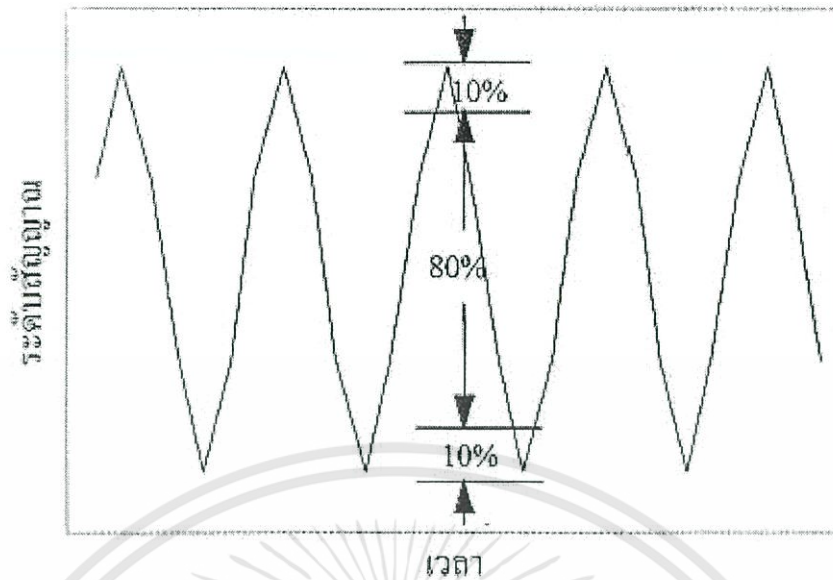
$$\rho_r(r) = \frac{2m^m r^{2m-1}}{\Omega^m \Gamma(m)} \exp\left(-\frac{mr^2}{\Omega}\right), r \geq 0 \quad (4.23)$$

ค่าของ  $m$  คือ การจางหายแบบนาคากามิ-เอ็ม (Nakagami-m fading) ซึ่ง  $0.5 \leq m < \infty$  และ  $\Gamma(\bullet)$  คือแกมมาฟังก์ชัน (gamma function) สามารถหาค่าของ CDF ดังสมการ

$$\rho_R(R) = \frac{m^m R^{m-1}}{\Omega^m \Gamma(m)} \exp\left(-\frac{mR}{\Omega}\right), R \geq 0 \quad (4.24)$$

#### 4.3 การจางหายของสัญญาณในระบบสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล PHS

การจางหายของสัญญาณ จะทำให้ระดับสัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลง การหาค่าการจางหายของสัญญาณสามารถหาได้จากรูปคลื่นที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา การหาค่ามัลติพาทเฟดดิ้ง (Multipath fading) จะต้องตัดค่าระดับสัญญาณสูงสุดและต่ำสุดออกข้างละ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยจะคิดเพียง 80 เปอร์เซ็นต์ของสัญญาณสูงสุดลบด้วยต่ำสุด [7-13] ดังแสดงในรูปที่ 4.7



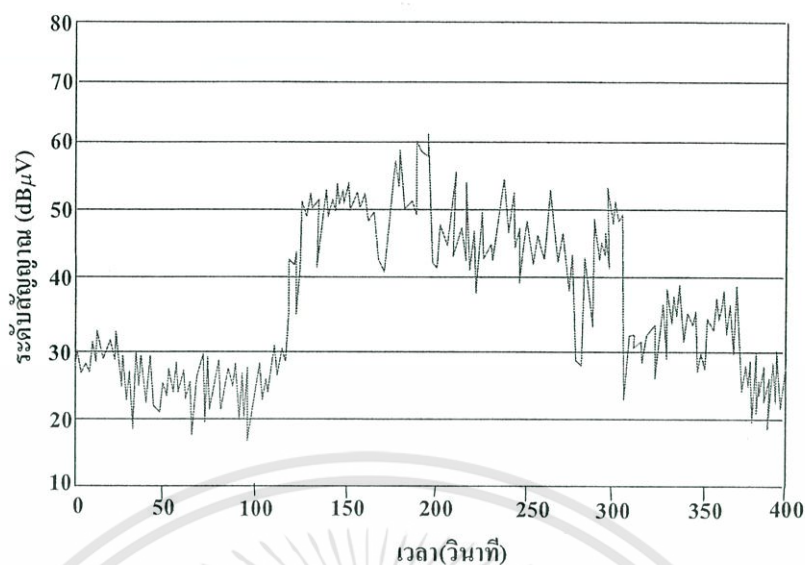
รูปที่ 4.7 การหาค่ามัธยฐานเฟดดิ้ง

#### 4.3.1 การวิเคราะห์การจางหายในเชิงสถิติ

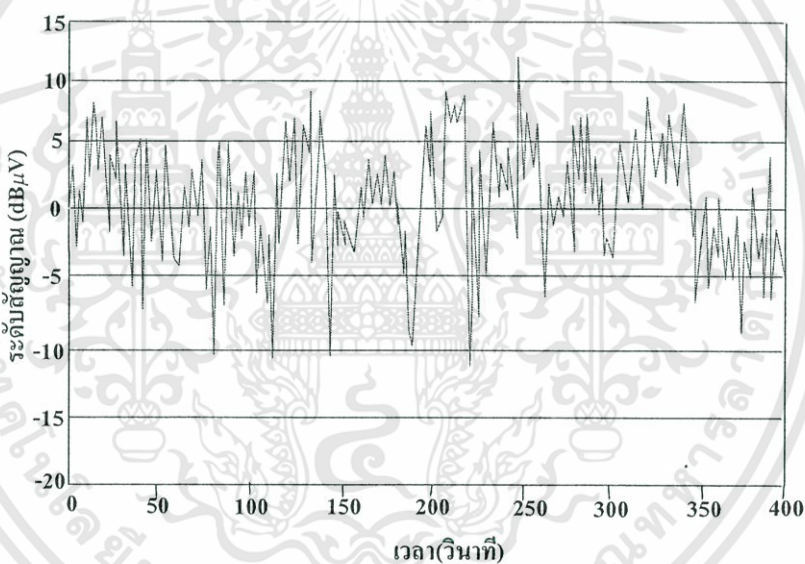
การคำนวณเชิงสถิติจะมีพารามิเตอร์หลายตัวด้วยกันที่น่าเชื่อถือ และวิธีการหนึ่งที่เป็นที่นิยม คือการหาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (PDF: Probability Density Function) และฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (CDF: Commulative Distribution Function) ในการทดสอบค่าระดับสัญญาณที่บันทึกได้ระหว่างการวัดนั้น เป็นค่าระดับสัญญาณที่รับได้จากเครื่องวัดแสดงในหน่วยเดซิเบลที่สัมพันธ์กับ 1 ไมโครโวลต์ ( $\text{dB}\mu\text{V}$ ) โดยข้อมูลที่ได้จะเปลี่ยนให้เป็นเชิงเส้นเสียก่อน โดยเปลี่ยนหน่วยจาก  $\text{dB}\mu\text{V}$  ให้เป็น  $\mu\text{V}$  ดังสมการที่ (4.25)

$$\text{ระดับสัญญาณ } \mu\text{V} = 10^{(\text{ระดับสัญญาณ (dB}\mu\text{V)})/20} \quad (4.25)$$

ข้อมูลที่ได้ทำการวัดในพื้นที่ต่าง ๆ ทั้ง 2 พื้นที่ จากนั้นนำข้อมูลมาทำการลดค่าลงโดยการทำการลดค่า (Normalize) ด้วยค่ามัธยฐาน (Median) [18] เพื่อตัดการลดทอนเนื่องจากระยะทางออกซึ่งจะทำให้ได้ระดับสัญญาณที่มีเฉพาะการจางหายระยะสั้นเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 4.8



(a)



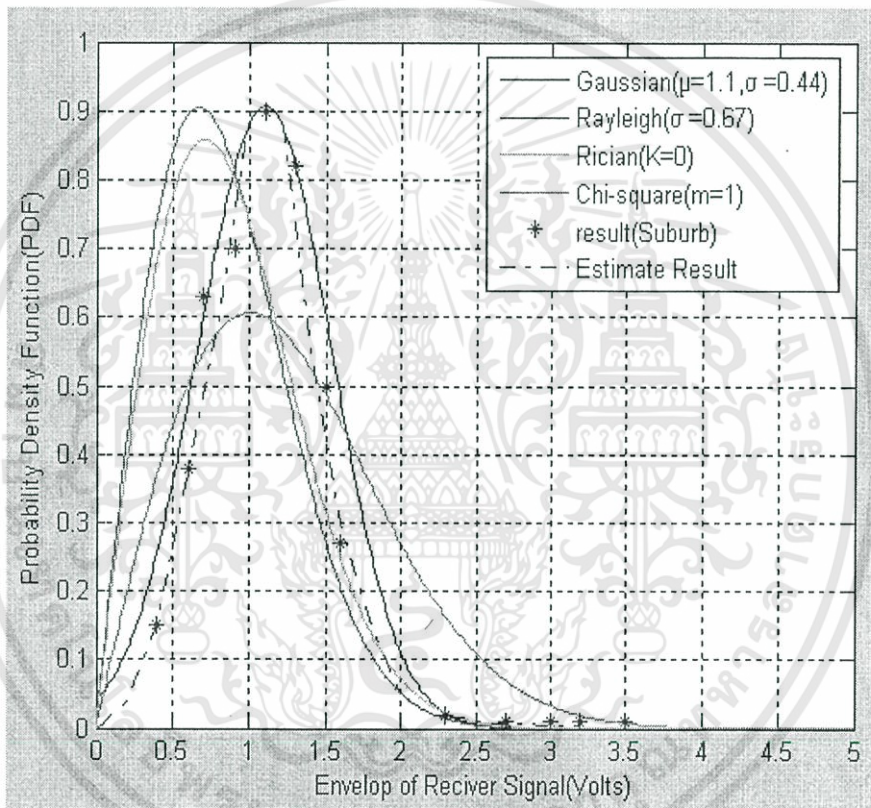
(b)

รูปที่ 4.8 (a) สัญญาณที่วัดได้ (b) สัญญาณที่ทำการนอมอดไลซ์

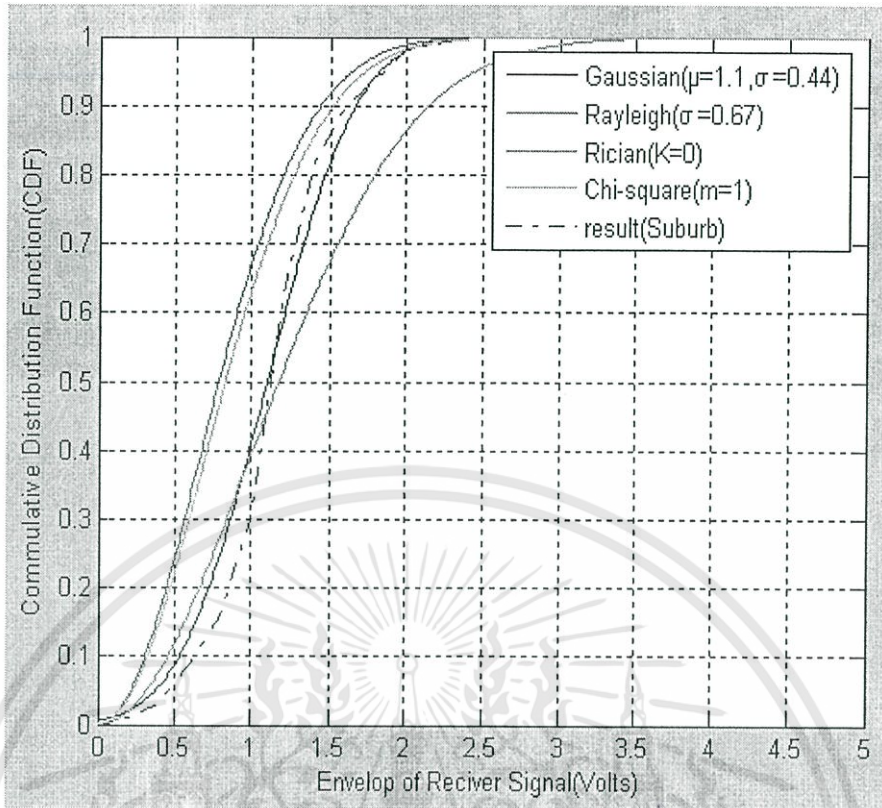
เมื่อ  $\sigma$  คือ ค่ามัธยฐาน โดยเมื่อนำมาวาดกราฟเป็นฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในแต่ละพื้นที่แสดงในรูปที่ 4.9, 4.10, 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ ลักษณะการแจกแจงในรูปแบบความน่าจะเป็นของสัญญาณที่รับได้ โดยทั้ง 2 พื้นที่ที่มีการแจกแจงน้อยกว่าการแจกแจงแบบเรย์ลีย์ การเปรียบเทียบของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของทั้ง 2 เขต แสดงดังรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่ากราฟการแจกแจงของเขตพื้นที่ชานเมืองมีการแจกแจงระดับสัญญาณที่รับได้ปานกลาง ส่วนเขตพื้นที่ชนบทเส้นกราฟจะสูงที่สุดซึ่งแสดงว่ามีการแจกแจงของสัญญาณที่รับได้น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละเขตพื้นที่ โดยการแจกแจงตามระดับสัญญาณที่รับได้ในหน่วยเดซิเบลแสดงดังรูปที่ 4.9 แกนนอนของกราฟเป็นค่าแอมพลิจูดของสัญญาณที่รับได้ในหน่วยเดซิเบล กราฟนี้ได้มาจากข้อมูลของสัญญาณที่ผ่านการลดค่าให้เป็นค่ามัธยฐาน (Median) [18] ซึ่งค่ากลางจะอยู่ที่ศูนย์เดซิเบล จะเห็นได้ว่าการกระจายของสัญญาณที่รับได้ในแต่ละเขตนั้นจะมีค่าแตกต่างกัน คือเขตพื้นที่ที่ชานเมือง และเขตพื้นที่ชนบทมีการกระจายของระดับสัญญาณที่รับได้ต่ำกว่าจากนั้นทำการวัดสัญญาณในพื้นที่ชานเมือง และพื้นที่ชนบทซึ่งมีลักษณะสิ่งก่อสร้างที่แตกต่างกันทำให้สัญญาณมีการจางหายที่แตกต่างกัน

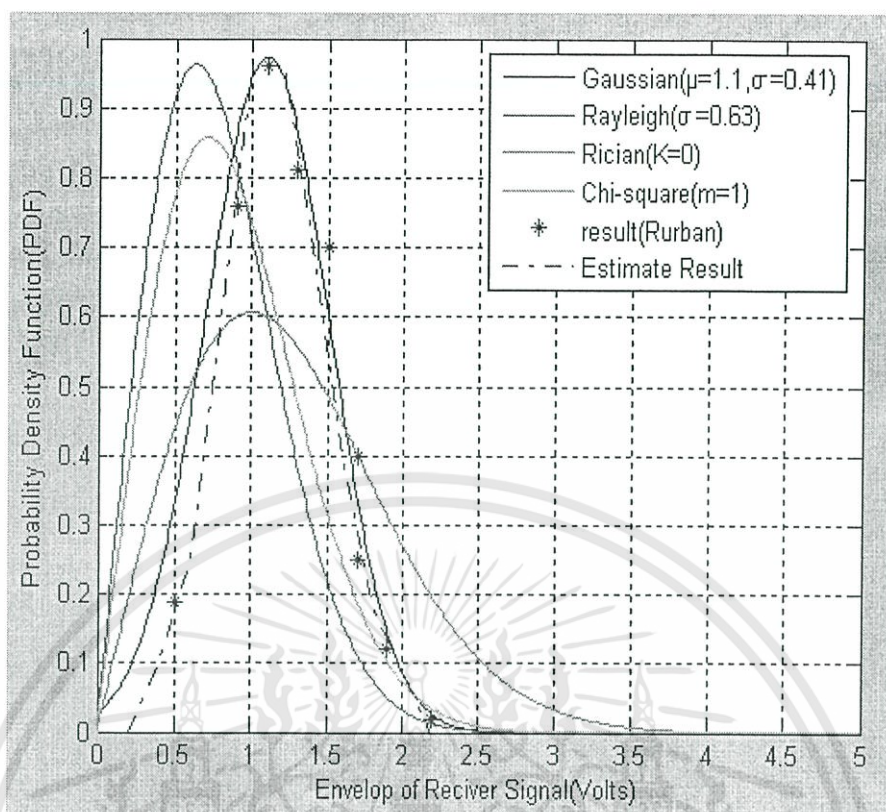


รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแต่ละแบบในเขตพื้นที่ชานเมือง

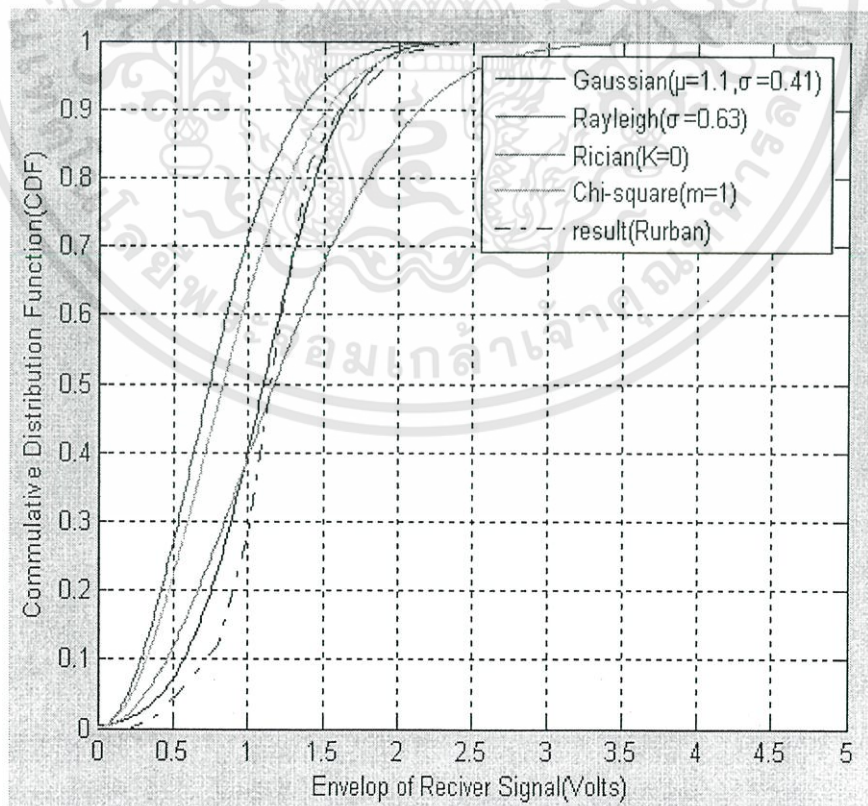


รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบฟังก์ชันแจกแจงสะสมแต่ละแบบกับสัญญาณที่ได้รับในเขตพื้นที่ชานเมือง

จากรูปที่ 4.9 พบว่าพื้นที่ชานเมือง เกิดการมัลติพาทเฟดดิ้งใกล้เคียงกับ รูปแบบการแจกแจงแบบเกาส์เซียน เนื่องจากพื้นที่ชานเมืองมีสิ่งก่อสร้างไม่มาก ทำให้เกิดการกระจายตัวของระดับสัญญาณที่รับได้อยู่ในระดับปานกลาง จากฟังก์ชันหนาแน่นของความน่าจะเป็นนำมาหาค่าฟังก์ชันแจกแจงสะสมดังรูปที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงสะสมแบบต่างๆแล้ว จะเห็นว่าเส้นกราฟของสัญญาณที่ได้รับมีค่าใกล้เคียงการแจกแจงแบบเกาส์เซียนซึ่งสอดคล้องกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นแต่ละแบบในเขตพื้นที่ชนบท



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบฟังก์ชันแจกแจงสะสมแต่ละแบบกับสัญญาณที่ได้รับในเขตพื้นที่ชนบท เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 พบว่าพื้นที่ชนบทเกิดการมัลติพาทเฟดดิ้งใกล้เคียงกับรูปแบบการแจกแจงแบบเกาส์เซียน เนื่องจากพื้นที่ชนบทมีสิ่งก่อสร้างน้อย ทำให้เกิดการกระจายตัวของระดับสัญญาณที่รับต่ำ จากฟังก์ชันหนาแน่นของความน่าจะเป็นนำมาหาค่าฟังก์ชันแจกแจงสะสมดังรูปที่ 4.12 เมื่อเปรียบเทียบกราฟการแจกแจงสะสมแบบต่างๆแล้ว จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงการแจกแจงแบบเกาส์เซียนซึ่งสอดคล้องกับฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นในรูปที่ 4.11

จากฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นนำมาหาค่าฟังก์ชันการแจกแจงสะสม เพื่อเปรียบเทียบกับกราฟการกระจายแบบรีเซียน เพื่อหาค่า K แฟคเตอร์ (Rician Factor) ตามสมการที่ (3.77) ในบทที่ 3 ค่า K จะบ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูล ถ้าค่า K มีค่าน้อยแสดงว่าข้อมูลมีการกระจายมาก ถ้าค่า K มีค่าลบอนันต์ การกระจายของข้อมูลจะเท่ากับการแจกแจงแบบเรย์ลีย์ และถ้า K มีค่ามากกว่า 1 มาก ๆ การกระจายก็จะเท่ากับแจกแจงแบบเกาส์เซียน [22] โดยฟังก์ชันการแจกแจงสะสมนี้กราฟที่ใช้ในการหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณตัวอย่างจะน้อยกว่าค่าที่กำหนด (หรือปริมาณที่สนใจ เช่น มีปริมาณตัวอย่างที่มีค่าน้อยกว่าค่ามัธยฐานอยู่ 50 เปอร์เซ็นต์) โดยฟังก์ชันการแจกแจงสะสมที่ทำการลดค่ามัธยฐานของแต่ละเขตแสดงดังรูปที่ 5.4, และ 5.6 โดยเส้นกราฟที่มีค่า K น้อยจะมีความชันน้อยและมีการกระจายของข้อมูลมาก โดยการกระจายมากที่สุด กราฟของแต่ละเขตจะมีความชันที่ไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าค่าของสัญญาณที่รับได้ในพื้นที่ชานเมืองและพื้นที่ชนบทมีการกระจายที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดเมื่อเทียบกับ

#### 4.3.2 การหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์

วิธีการหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์จะทำการหาค่าจางหายจากช่วงของค่าการจางหายเฉลี่ยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการจางหาย นำข้อมูลทั้งหมดมาทำการแจกแจงสามารถหาค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ได้ดังสมการที่ (4.25)[19-21]

$$\text{ค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์ (Ff)} = 1/2 \text{ ของค่าที่ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ 90\%} \quad (4.26)$$

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดข้อมูลและการคำนวณจากสมการ (4.26)

หัวข้อเปรียบเทียบ	เขตพื้นที่ชานเมือง	เขตพื้นที่ชนบท
การเฟดดิ้ง (dB)	9.45 – 20.96	4.32 – 12.54
การเฟดดิ้งเฉลี่ย (dB)	15.48	8.15
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.09	1.86
ค่าที่ตำแหน่งเปอร์เซ็นต์ไทล์ 90%	18.33	9.94
ค่าเฟดดิ้งแฟคเตอร์	9.17	4.97

เนื่องจากถ้าใช้ระยะสวิงของการจางหาย 100% จะทำให้การติดตั้งสถานีเซลล์มีระยะห่างระหว่างเซลล์ใกล้มาก จึงอ้างอิงที่ตำแหน่ง 90% ให้มีการสูญเสีย  $\frac{1}{2}$  (10%) ให้มีการสูญเสีย (5%) ตารางที่ 4.1 ของรายละเอียดข้อมูลและการคำนวณจากสมการที่ (4.26)

สมการของการลดทอนตามระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นสำหรับระบบสื่อสารไร้สาย ส่วนบุคคลที่มีส่วนประกอบของเฟดดิ้งแพคเตอร์หาได้ดังสมการ

$$15.4 + 23.33 \log f_c (\text{MHz}) + 44.44 \log d (\text{km}) - a(h_{cs}) + F_F = P_T (\text{dBW} : \text{EIRP}) - P_r (\text{dBm}) \quad (4.27)$$

เมื่อ  $f_c$  คือ ความถี่ใช้งาน (1917.350 MHz)

$d$  คือ ระยะทางระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่ง

$a(h_{cs})$  คือ แฟคเตอร์แก้ไขเมื่อความสูงของสถานีเซลล์เปลี่ยนแปลง

$$\text{สายอากาศอัตรายาย 7 dBi}, a(h_{cs}) = 10 \log h_{cs} - 6.54$$

$$\text{สายอากาศอัตรายาย 10 dBi}, a(h_{cs}) = 2(10 \log h_{cs} - 6.54)$$

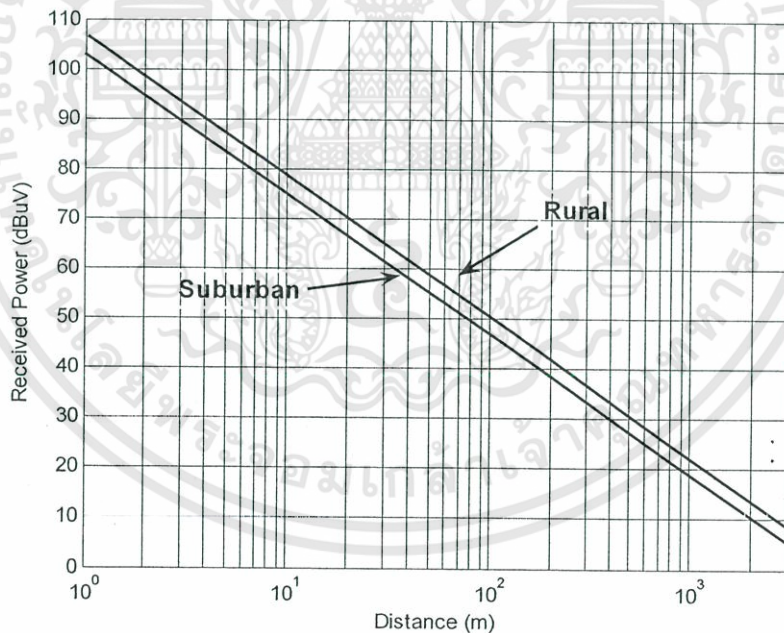
## บทที่ 5

# ผลการวิเคราะห์การวัดทดสอบและติดตั้งเซลล์

### 5.1 การติดตั้งเซลล์และการทดสอบผลการใช้งาน

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ค่าเฟดดิ้งแฟกเตอร์ตามตารางที่ 4.1 เราได้นำเสนอสมการลดทอนจากระยะทางในการแพร่กระจายคลื่นที่มีการแทนค่าจางหายของสัญญาณ ดังสมการที่ 4.27 ซึ่งเราสามารถหาค่ารัศมีของเซลล์ได้

จากคุณสมบัติของระบบโทรทัศนัพทพบบุคคลPHS ถ้าสัญญาณมีระดับความแรงต่ำกว่า 30 dB $\mu$ V หรือเรียกว่าระดับเฮนส์โอเวอร์ ในสมการที่ 4.27 จะได้ระยะทางในแต่ละพื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 5.1 สำหรับพื้นที่ชานเมืองจะรัศมีเซลล์ 400 เมตร และพื้นที่ชนบทจะรัศมีเซลล์ 512 เมตร ฉะนั้นในพื้นที่ชานเมืองจะติดตั้งสถานีเซลล์ห่างกัน 800 เมตร และพื้นที่ชนบทจะติดตั้งสถานีเซลล์ห่างกัน 1024 เมตร



รูปที่ 5.1 ระยะรัศมีของเซลล์ในพื้นที่ต่าง ๆ

หลังจากที่ได้ทำการออกแบบเพื่อวางตำแหน่งเซลล์ในระบบโทรศัพท์พื้นฐานพบบุคคลพีซีทีสำหรับให้บริการในโหมดสาธารณะดังที่กล่าวมาในบทที่ 4 จากนั้นทำการติดตั้งเซลล์ในพื้นที่ในบริเวณถนนสายหลักต่าง ๆ ท่วมบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการโดยพิจารณาการติดตั้งเซลล์ตามสภาพแวดล้อมและปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ในแต่ละพื้นที่ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ จากนั้นทำการวัดทดสอบด้วยเครื่อง LEADER PHS Field Analyzer LF 960 ที่ช่อง 75 (1917.350 MHz) ซึ่งเป็นช่องสัญญาณควบคุมที่ใช้ในการข้ามเซลล์ของเครื่องโทรศัพท์พีซีทีซึ่งเป็นช่องที่มีการสูญเสียจากระยะทางมากที่สุด

การทดสอบการแพร่กระจายคลื่นของเซลล์ในพื้นที่ให้บริการจึงแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะตามการออกแบบคือ

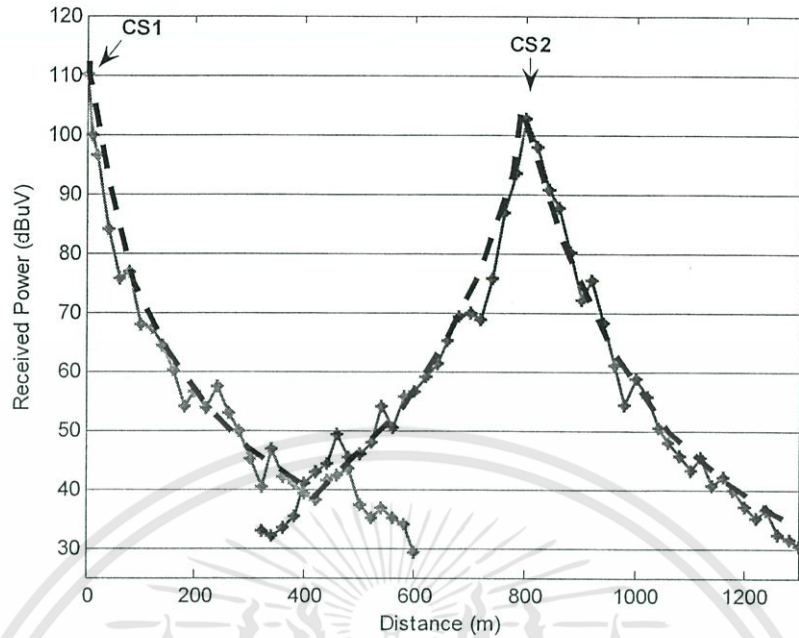
**พื้นที่เขตชานเมือง** เป็นเขตที่มีปริมาณการจราจรไม่มากนัก ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ไม่สูงมากนักมีสิ่งก่อสร้างไม่สูงมากนักอยู่ข้างถนน มีปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ปานกลาง เลือกใช้พื้นที่บริเวณถนนร่มเกล้า สำหรับการทดสอบผล

**พื้นที่เขตชนบท** เป็นเขตพื้นที่ที่ยานพาหนะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงข้างถนนไม่มีสิ่งก่อสร้างหรือมีน้อยมาก เลือกพื้นที่บริเวณถนนคลองกรุง สำหรับการทดสอบผล

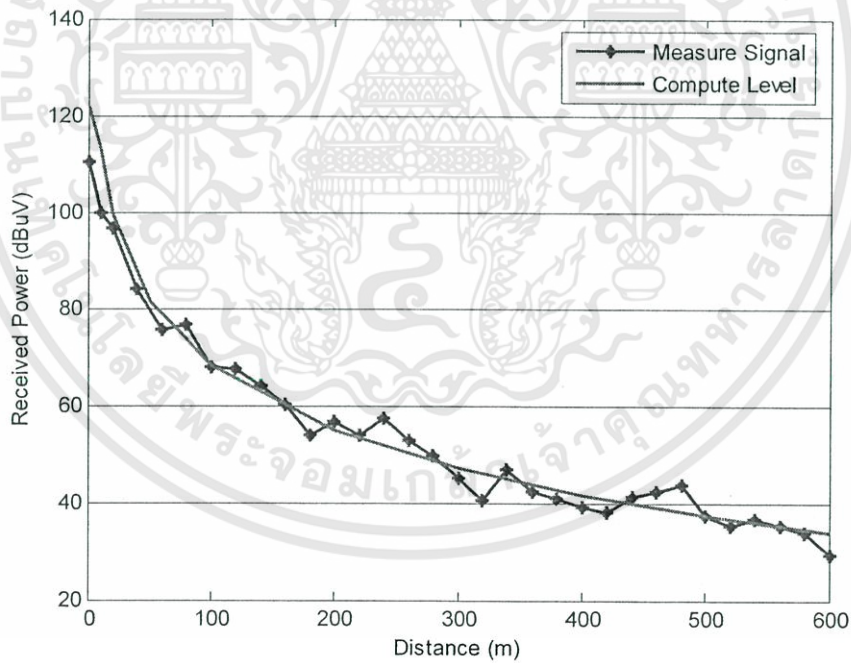
ในการทดสอบการเดินใช้งาน โดยทำการวัดรวบรวมผลด้วยเครื่อง LEADER PHS Field Analyzer LF 960 ทำการเดินวัดสัญญาณแบบจุดต่อจุด แต่ละจุดห่างกัน 10 เมตรจากนั้นนำค่าที่ได้จากการวัดมาพล็อตกราฟจะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 5.1.1 การทดสอบในพื้นที่ชานเมือง

การทดสอบผลของการออกแบบการวางเซลล์ในพื้นที่เขตชานเมืองนั้น จะทำการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ ไว้ที่เสาไฟฟ้าที่ความสูง 4.5 เมตรบริเวณถนนร่มเกล้า โดยติดตั้งสถานีเซลล์ห่างกันประมาณ 800 เมตร เมื่อทำการเดินวัดทดสอบโดยเครื่องวัดสูงจากพื้น 1.5 เมตร จะได้ผลทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.2 จากรูปจะเห็นได้ว่าตลอดระยะที่ทำการทดสอบ โดยเฉพาะช่วงต่อระหว่างเซลล์มีระดับสูงกว่า 30 dB $\mu$ V ซึ่งเป็นระดับสัญญาณที่ใช้ในการเปลี่ยนเซลล์จึงสามารถใช้งานได้โดยไม่มีพื้นที่ที่เป็นจุดบอด จากรูปจะพบว่าในบริเวณถนนร่มเกล้า สัญญาณส่วนใหญ่มีความแรงมากกว่าระดับ 30 dB $\mu$ V แม้บริเวณที่มีการจางหายสูง หรือมีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ โดยได้ทำการคำนวณระดับสัญญาณจากสมการเปรียบเทียบกับสัญญาณที่รับได้ จะเห็นได้ว่า จากโมเดลที่เราได้ทำการออกแบบมีผลที่ใกล้เคียงกับระดับสัญญาณที่รับได้จริงและสามารถรองรับการใช้งานได้



รูปที่ 5.2 ผลการทดสอบบริเวณถนนร่วมเกล้าเมื่อวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ห่างกัน 800 เมตร

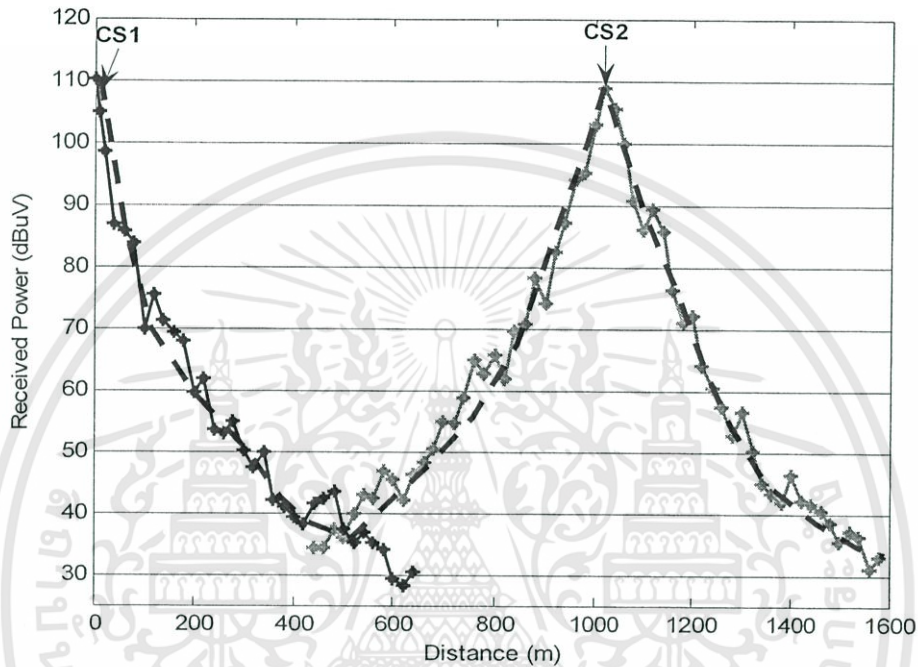


รูปที่ 5.3 ผลการเปรียบเทียบผลจากการคำนวณกับผลที่ได้จากการวัดบริเวณถนนร่วมเกล้า

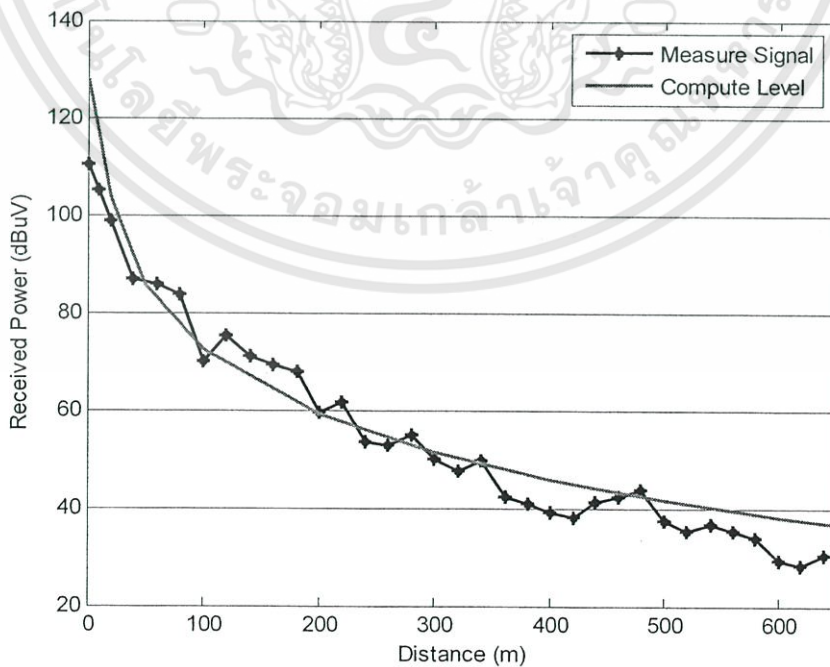
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.2 การทดสอบในพื้นที่ชนบท

การทดสอบผลของการวางเซลล์ในพื้นที่เขตชานเมืองนั้น จะทำการติดตั้งสถานีเซลล์ขนาด 200 มิลลิวัตต์ ไว้ที่เสาไฟฟ้าที่ความสูง 4.5 เมตรบริเวณถนนคลองกรุง โดยติดตั้งสถานีเซลล์ห่างกัน ประมาณ 1050 เมตร เมื่อทำการเดินวัดทดสอบ โดยเครื่องวัดสูงจากพื้น 1.5 เมตรจะได้ทดสอบ แสดงดังรูปที่ 4.4



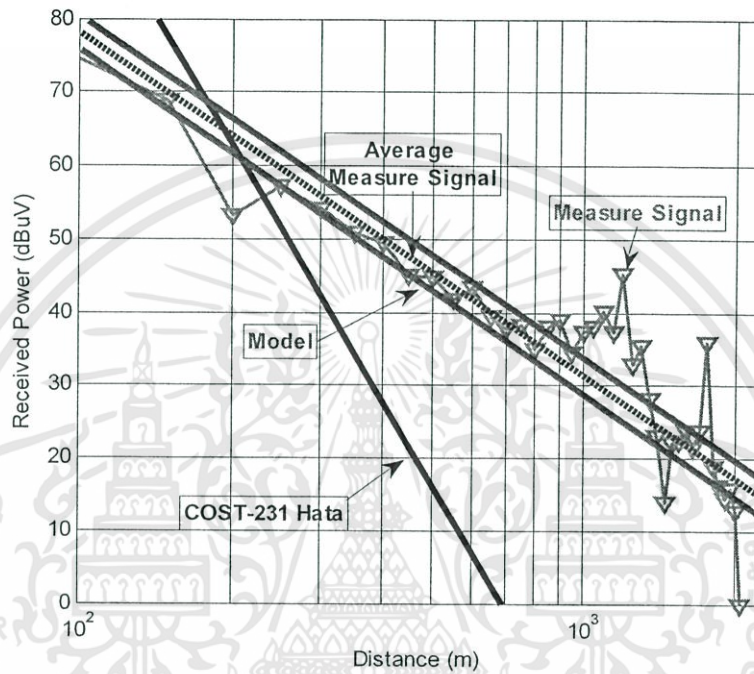
รูปที่ 5.4 ผลการทดสอบบริเวณหนองจอก เมื่อวางเซลล์ 200 มิลลิวัตต์ห่างกัน 1050 เมตร



รูปที่ 5.5 ผลการเปรียบเทียบผลจากการคำนวณกับผลที่ได้จากการวัดบริเวณถนนคลองกรุง

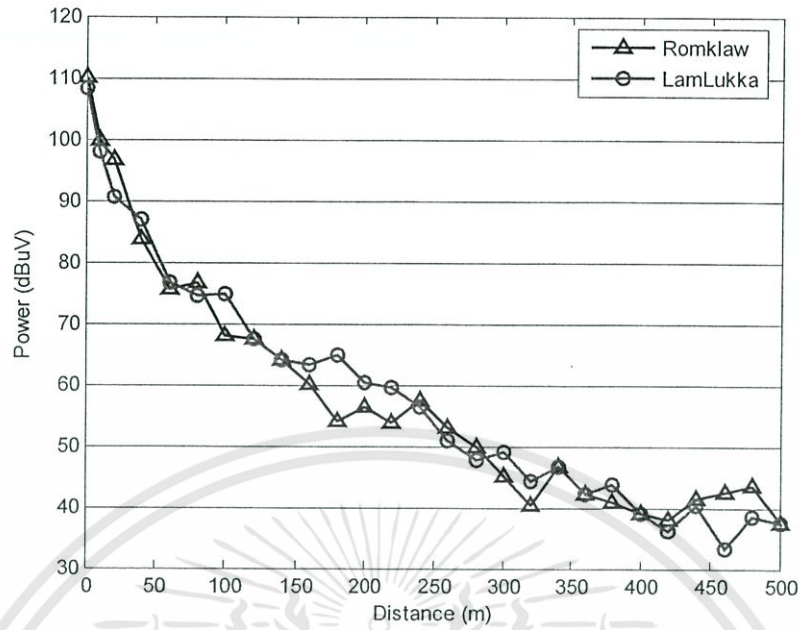
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นได้ว่าตลอดระยะที่ทำการทดสอบ โดยเฉพาะช่วงต่อระหว่างเซลล์มีระดับสูงกว่า 30 dB $\mu$ V ซึ่งเป็นระดับสัญญาณที่ใช้ในการเปลี่ยนเซลล์จึงสามารถใช้งานได้โดยไม่มีพื้นที่ที่เป็นจุดบอด โดยได้ทำการคำนวณระดับสัญญาณจากสมการเปรียบเทียบกับสัญญาณที่รับได้ จะเห็นได้ว่า จากโมเดลที่เราได้ทำการออกแบบมีผลที่ใกล้เคียงกับระดับสัญญาณที่รับได้จริงและสามารถรองรับการใช้งานได้



รูปที่ 5.6 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองแบบ COST-231 Hata กับ แบบจำลองที่ออกแบบ

จากรูปที่ 5.6 แสดงโมเดลที่ได้จากการออกแบบเปรียบเทียบกับ โมเดลที่ได้จากการวัดและโมเดลของ COST-231 Hata ซึ่งแสดงให้เห็นว่า โมเดลที่เราทำการคำนวณจากการใช้วิธีการทางสถิติ มีความใกล้เคียงกับสัญญาณที่วัดซึ่งการที่แบ่งเป็นสองช่วงเนื่องจากเป็นช่วงของการจางหายที่เกิดขึ้นในระบบที่สามารถใช้งานได้



รูปที่ 5.7 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองที่ออกแบบในพื้นที่ริมเกล้าและลำลูกกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัย

#### 6.1 บทสรุป

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการแพร่กระจายคลื่นในย่าน 1900 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ใช้งานในระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (PHS) ที่นำไปใช้งานในระบบโลคัลดูปไร้สาย และได้ทำการหาแบบจำลองการลดทอนคลื่นโดยการวัดค่าจริงจากเครื่องรับ และพบว่าแบบจำลองที่ได้จากวัดจริงในการวิจัยนี้มีค่าการคาดคะเนของค่าการจางหายของสัญญาณอันเนื่องมาจากระยะทางที่เที่ยงตรงกว่าแบบจำลองการลดทอนคลื่นแบบมาตรฐาน COST-231-Hata เพื่อนำแบบจำลองที่ได้มาใช้ในการออกแบบเพื่อหาดำแหน่งเซลล์ในการติดตั้งสถานีเซลล์สำหรับระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคลที่นำไปใช้งานกับระบบโลคัลดูปไร้สายดังกล่าวแบบจำลองการจางหายเนื่องจากระยะทางที่ได้จากการวัดค่าจริง (Empirical path loss model) ดังนี้

$$15.4 + 23.33 \log f_c (\text{MHz}) + 44.44 \log d (\text{km}) - a(h_{cs}) + F_F = P_T (\text{dBW} : \text{EIRP}) - P_r (\text{dBm})$$

เมื่อ  $f_c$  คือ ความถี่ใช้งาน (1917.350 MHz)

$d$  คือ ระยะทางระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่ง

$a(h_{cs})$  คือ แฟคเตอร์แก้ไขเมื่อความสูงของสถานีเซลล์เปลี่ยนแปลง

สายอากาศอัตรายาย 7 dBi,  $a(h_{cs}) = 10 \log h_{cs} - 6.54$

สายอากาศอัตรายาย 10 dBi,  $a(h_{cs}) = 2(10 \log h_{cs} - 6.54)$

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าในพื้นที่ได้มีการวางเซลล์ตามโมเดลที่ได้จากการคำนวณ ระดับสัญญาณที่รับได้มีค่าสูงกว่าระดับมาตรฐานที่กำหนดไว้เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนเซลล์ ในระดับสัญญาณ  $30 \text{ dB}\mu\text{V}$  โดยค่าของการเกิดการจางหายนั้นเราได้ทำการคำนวณหาแฟคเตอร์ ที่นำมาใช้เป็น ส่วนประกอบสำหรับโมเดลของการลดทอน ดังสมการ

การใช้วิธีการทางสถิติเพื่อเปรียบเทียบดูแนวโน้มของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability Distribution Function) และฟังก์ชันการแจกแจงสะสม (Cumulative Distribution Function) เพื่อหาความเที่ยงตรงในการหาค่าการลดทอน ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบ ที่ถูกต้องทำให้สามารถที่จะหาสมการการลดทอนในพื้นที่ได้ได้อย่างเหมาะสมกับพื้นที่นั้นๆ และสามารถรองรับการใช้งานได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] G.D. Jerry. **The Mobile Communication Handbook**. USA. : CRC Press, Inc, 1996.
- [2] D. A. Rifaat. **PCS & Digital Cellular Technologies**. : Prentice – Hall. Inc. 1997.
- [3] C. D. Cox. “**Personal Communication – A Viewpoint**” IEEE Communication Magazine, November 1990, pp. 8 – 20.
- [4] Bell Communication Research (BellCore). **Comparison of Low Power Wireless Access System: PACS PHS and DECT for Public Environment**. 1996.
- [5] ETR 015. **DECT reference document ETSI**, March 1991.
- [6] Ministry of Posts & Telecommunications (MPT), **Japan Personal Handy-phone System Guidebook**, 1995.
- [7] P. Moungnoul, P. Tangtisanon and T. Paungma, “**PCT – The New Service of Digital Wireless Communication in Thailand**”, Proc. of 16<sup>th</sup> International Telecommunication Symposium (ITS'98), Taipei, Taiwan. R.O.C., Vol.II, September 1998, pp.51-55.
- [8] P. Moungnoul., M. Sukkasem and T. Paungma, “**Personal Communication Telephone new system for digital wireless communication in Thailand**”, IEICE Trans. on Electronic, July, 1999, pp. 1280 – 1286.
- [9] P. Moungnoul, N. Namuang, M. Sukkasem and T. Paungma, “**The computation and results for cell coverage region for a PCT system**”, Proc. of 16<sup>th</sup> International Symposium (ITS'98), Taiwan, R.O.C. Vol.II, September, 1998, pp. 57-62.
- [10] P. Moungnoul, P. Tangtisanon and T. Paungma. “**Cell Station Design for Personal Telephone**”, Proc. of The 6<sup>th</sup> IEEE International Workshop on Intelligent and Communication Systems (ISPACS'98), Melbourne, Australia, Vol.2, November 1998, pp. 645 – 649.
- [11] C.Y. L. William. **Mobile Cellular Telecommunication System**, McGraw-Hill Inc, 1989.
- [12] M. Hata, “**Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services**”, IEEE Tech, Vol. 29, August 1980, pp. 317-325.

- [13] 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, September 1991.
- [14] Telecom Training Department – TT&D, “**PCT Network Introduction**”, Version 3, November 1997.
- [15] S. Sampei. **Application of digital wireless technologies to global wireless communications**, Prentice Hall, 1997.
- [16] C. Smith. **Practical Cellular & PCS Design**: McGraw – Hill. 1998.
- [17] F. S.Ikegami, T.Yoshida and M.Umehira, “**Propagation Factors Controlling Mean Field Strength on Urban Streets**”, IEEE Trans. On Antenna and Propagation, Vol. 32, Dec. 1984, pp. 822-829.
- [18] J. Walfisch and H. L. Bertoni. “**A theoretical Model of UHF Propagation Factors Controlling Mean Field Strength on Urban Environments**”, IEEE Trans. Antenna and Propagation Vol. 16, October 1988, pp.1788-1196.
- [19] T. Pattanadapong, C. Leangwongsun, M. Sukkasem and T. Paungma. “**Solving Fading Effect in the PCT System by Utilizing Fading Factor in Loss Equation**”, Proc. of 1<sup>st</sup> Workshop on ITS Telecommunication (ITST2000), Japan, pp.91-95.
- [20] NEC Corporation. “**PHS Cell Station Instruction Manual**”, 1<sup>st</sup> Edition, December 1996.
- [21] W.C.Y. Lee. “**Lee’s Model**”, IEEE Trans. on Vehi. Tech., Feb. 1998. pp. 68-70
- [22] S. Theodore and T. S. Rappaport., **Wireless Communications Principles and Practice**. New Jersey: Prentice Hall PTR. 1996.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. P. Moungnoul, S. Chanoupragan, S. Mitatha, U. Thongrak, “**Design of PHS Cell station installed for Wireless Local Loop Service**”, The 2007 International Conference on Information Communication Technology , Vientiane Lao PDR, 19-22 December 2007



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JICT  
2007

# Proceedings

## Joint International Conference on Information Communication Technology



JICA



TOKAI  
UNIVERSITY

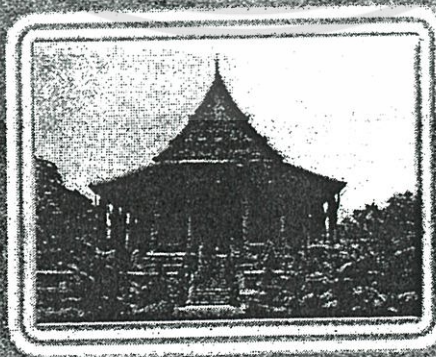
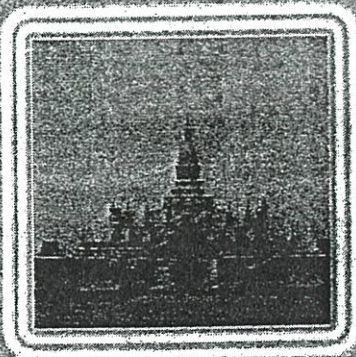


MEIJI  
UNIVERSITY

ECTI  
Association

日本シミュレーション学会  
JSST  
Japan Society for Simulation Technology

19-22 December 2007  
Donchan Palace Hotel, Vientiane, Lao PDR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต  
JICT 2007 JICT 2007 JICT 2007 JICT 2007 JICT 2007 JICT 2007

# DESIGN OF PHS CELL STATION INSTALLED FOR WIRELESS LOCAL LOOP SERVICE

Phichet Moungnoul\* Satit Chanoupragan\* Somsak Mitatha\* Umaphorn Thongrak \*\*

\*Faculty of Engineering and Research Center for Communication and Information Technology (ReCCIT)  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok , Thailand

\*\* Faculty of Engineering, Sripatum University, Jatujak, Bangkok, Thailand

Email address : [phichet@telecom.kmitl.ac.th](mailto:phichet@telecom.kmitl.ac.th), [kmsomsak@kmitl.ac.th](mailto:kmsomsak@kmitl.ac.th), [samhmok@spu.ac.th](mailto:samhmok@spu.ac.th).

## ABSTRACT

This paper proposes an empirical path loss model of PHS cell station installed for WLL service. This model derived from measurement results in LOS and NLOS areas using both omni-directional and directional antennas with fading factor from statistical fading model. When compare with conventional model, the proposed model demonstrated that the optimal for cell station installation design in WLL service.

## 1. INTRODUCTION

Rapid increasing of village in suburban and rural area required more the telephone service. The most one problem of fixed line telephone service is the required telephone installation area is far from service area of RDLU (Remote Digital Line Unit). To solve this problem the Wireless Local Loop (WLL) is used. PHS [1] WLL is the type of radio wave transmitting and receiving by using CS (Cell Station) and FSU (Fixed Subscriber Line). FSU has high gain antenna to communicate with CS for telephone service in target area. In addition, the connection and communication of CS and FSU is limited by propagation path loss that must be considered for cell station installation design [2], [3].

Empirical models are described by equations derived for statistical analysis of a large number of measurements these methods are simple and do not require detailed information about the environment. They are also easy and fast to apply because the estimation is usually obtained from closed expression [4]. In [5], [6] is more popular empirical models for cell planning. The coverage area of cell layout as shown in Figure 1, diamond shape cell pattern [7] is used.

The received signal at the receiver combined of signal from multi-path signal. The shortest path between transmitter and receiver called *Line of Sight* (LOS) and other delay path that produced by reflection, diffraction and scattering called *Non Line of Sight* (NLOS). The combined signal from multi-path is to add or cancel, causing a fluctuation of the signal received. Decreasing of signal level at the receiver called *multi-path fading*. Therefore, analysis of the random and fluctuation fading signal has used statistical method and consider on random signal processing [7]. Usually the PDF (Probability

Density Function) generated from experiment data in dB values need a proper normalization factor into linear value before it can compared with theoretical and numerical technique that is particularly useful CDF (Commulative Distribution Function).

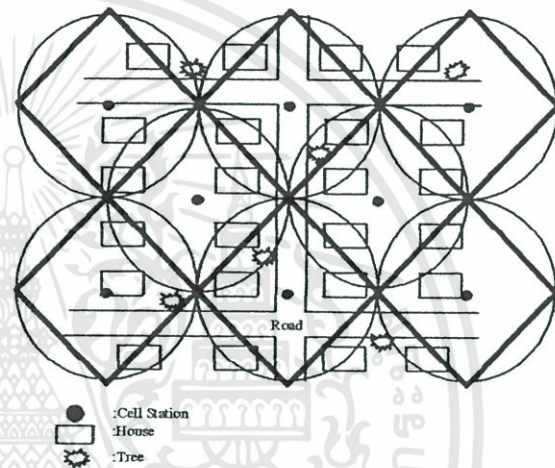


Figure 1. Cell station installed layout with Diamond shape model.

In this paper, installed the cell station for field tried with transmit power  $P_t$  is 200 mW (-6.98 dB), high gain directional and omni antenna (10dBi) that obtained  $P_r$  is 3 (dBm: EIRP), transmitter high 4.5m to 18 m and received antenna high 1.5 m (0 dBi). The measured signal used LEADER PHS Field Analyzer LF 960 with channel No.75 (1917.35 MHz) is control channel that assigned for Telecom Asia Corporation Company Limited. The results of the average receive signal is plot as shown in Figure 2.

## 2. EMPIRICAL PATH LOSS MODEL

To find the signal level is obtained from wave propagation. The ERP (Effective Radiated Power) by multiplication of transmit power and antenna gain. EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) for ideal isotropic antenna has transmitted power  $P_t$  (dBm: EIRP) and the

distortion form propagation loss between transmitter and receiver is represented by  $L$  (dBm).

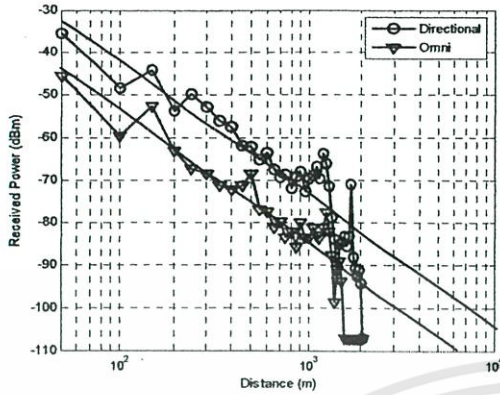


Figure 2. Received power signal form directional antenna and omni-directional antenna

$A_{eff}$  is area that can be received signal (Absorption cross-section) of isotropic antenna,  $P_u$  is the received power density, received power  $P_r$  is obtained by

$$P_r = P_u * A_{eff} \quad (1)$$

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

$$P_r \text{ (dBm)} = P_u \text{ (dBm/m}^2\text{)} + 10 \log A_{eff} \quad (3)$$

Where  $A_{eff} = \lambda^2/4\pi$ ,  $\lambda$  is wave length of carrier frequency. From [5], [6] power density of the received signal as follows.

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

The distortion from propagation loss is depended on distance between transmitter and receiver. The path loss equation is obtained by

$$\begin{aligned} L \text{ (dB)} &= P_t \text{ (dB)} - P_r \text{ (dBm)} \\ &= P_T \text{ (dBW : EIRP)} - E \text{ (dB}\mu\text{V/m)} \\ &\quad - 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) + 145.8 \end{aligned} \quad (5)$$

$$P_T \text{ (dBW : EIRP)} = P_t G_t = P_t \text{ (dB)} + G_t \text{ (dBi)} \quad (6)$$

Transmit power of CS,  $P_t$  is 200mW (-6.98dB), antenna gain is 10dBi. From (6) is 3dBW : EIRP. Represent (6) in (5) then

$$L \text{ (dB)} = 148.8 - 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - E \text{ (dB}\mu\text{V/m)} \quad (7)$$

Where  $E \text{ (dB}\mu\text{V/m)} = \gamma + \beta \log d \text{ (km)}$  and  $\lambda, \beta$  are constant. Figure 2,  $L = P_t - P_r$ ,  $d = 1 \text{ km}$ ,  $L = 92 \text{ dB}$ . It can rewrite the path loss equation  $L$  as follows.

$$L = A + B \log d \text{ (km)} \quad (8)$$

$$A = 148.8 - 10 \log \left( \frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - E \text{ (dB}\mu\text{V/m)} \quad (9)$$

$$B = -\beta + 44.44 \text{ dB/km} \quad (10)$$

Where  $A$  is path loss from  $d = 1 \text{ km}$ ,  $L = A$  (92 dB). The measurement result for vary carrier frequency as shown in figure 3.

$$A = 92 = 15.4 + 23.33 \log_{10} f_c \quad (11)$$

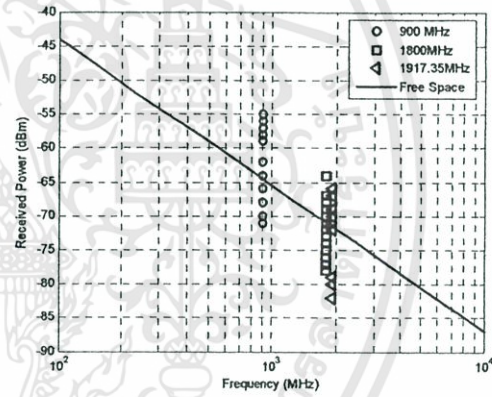


Figure 3. Received power signal versus frequency of omni-directional antenna

Then, it is necessary to examine the distortion of the antenna height. The measurement result for vary antenna gain is 10 dBi between 4.5 meters to 18 meters as shown in figure 4. Then

$$a(h_{cs}) = 10 \log h_{cs} - 6.54, \text{ antenna gain } 7 \text{ dBi} \quad (12)$$

$$a(h_{cs}) = 2(10 \log h_{cs} - 6.54), \text{ antenna gain } 10 \text{ dBi} \quad (13)$$

From (10), (11), (12), we were obtained path loss equation to cell station installation for WLL service as follows.

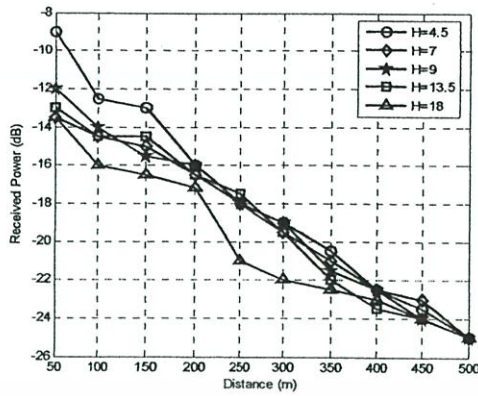


Figure 4. Received power signal of antenna height measurement, 10 dBi antenna gain.

$$L = 15.4 + 23.33 \log f_c (\text{MHz}) + 44.44 \log d (\text{km}) - a(h_{cs}) \quad (14)$$

Where  $f_c$  is frequency 1917.35 MHz

$d$  is distance between transmitter and receiver around 0-2,000 m

$a(h_{cs})$  is corrected factor for antenna height changing

In order to compare the propose empirical path loss model with popular empirical path loss COST231-Hata model [5] as follows.

$$L = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_t - a(h_{cs}) + (44.9 - 6.55 \log h_r) \log d + CM \quad (15)$$

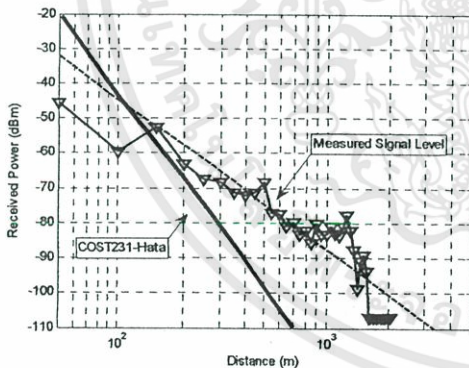


Figure 5. Comparison between propose path loss model and COST 231-Hata model with received power signal.

Figure 5 shows that our model more optimized than COST231-Hata model. COST231-Hata model the received signal has more slope, it is obtained the shorter distance.

### 3. FADING STATISTICAL DISTRIBUTION [9]

#### 3.1. The Gaussian Distribution

Distributions of random variables are often gaussian in shape, or can be approximated as such. The gaussian density function is described by the probability density function as follows.

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (16)$$

which is symmetric about  $\mu$ .  $\sigma^2$  is variance. Given this PDF the cumulative probability is.

$$F(x) = \int_{-\infty}^x p(x) du = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(u-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) du = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{x-\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right) \quad (17)$$

where  $\operatorname{erf}$  is the error function as follows.

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-t^2) dt \quad (18)$$

#### 3.2. Rayleigh Distribution

The Rayleigh distribution is by far the most used one to model the fading phenomenon due to its simplicity, straightforward derivation from geometrical assumption, and fairly good agreement with experimental data. The PDF is given by.

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), & 0 \leq r < \infty \\ 0, & r < 0 \end{cases} \quad (19)$$

where  $r$  is the level (amplitude) of the received signal and  $\sigma^2$  is the parameter of the Rayleigh distribution (average received power). Probability of received signal is lower than  $r$ , the CDF value can be obtained as.

$$P(R) = P_r(r \leq R) = \int_0^R p(r) dr = 1 - \exp\left(-\frac{R^2}{2\sigma^2}\right) \quad (20)$$

#### 3.3. Rician Distribution

The Rician distribution known as the Nakagami-n distribution, can be derived from geometrical assumption, provide good agreement with experimental data for many cases, and is widely used. It differs from the former because it considers that in addition to all the Rayleigh assumptions, there is a strong arriving wave usually LOS

situations. Because of that, the model is not as simple as the previous one. The Rician PDF is given by

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2+A^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right) & , A \geq 0, r \geq 0 \\ 0 & , r < 0 \end{cases} \quad (21)$$

where  $A$  is maximum level signal from LOS and  $I_0(\bullet)$  designates the modified Bessel function of degree 0th and 1st respectively. Rician distribution usually describe by  $K$  parameter (Rician factor) from measured power signal divide by variance of multi-path is  $K = A^2/(2\sigma^2)$ . If  $A \rightarrow 0, K \rightarrow \infty$  Rician distribution has the same properties of Rayleigh distribution. The  $K$  value can be obtained in dB as.

$$K(\text{dB}) = 10 \log \left[ \frac{A^2}{2\sigma^2} \right] \quad (22)$$

### 3.4. Chi-square Distribution

The PDF of Chi-square is given by

$$p_\alpha(\alpha) = \frac{2m^m \alpha^{2m-1}}{\Omega^m \Gamma(m)} \exp\left(-\frac{m\alpha^2}{\Omega}\right) \quad , \alpha \geq 0 \quad (23)$$

where  $m$  is the Nakagami- $m$  fading that  $0.5 \leq m < \infty$  and  $\Gamma(\bullet)$  is gamma function, can be obtain by CDF as follow

$$p_\gamma(\gamma) = \frac{m^m \gamma^{m-1}}{\Omega^m \Gamma(m)} \exp\left(-\frac{m\gamma}{\Omega}\right) \quad , \gamma \geq 0 \quad (24)$$

Measurements were taken in rural environments that have the different fading effects. We obtained the median factor from normalize received data. The received data and normalize received data is shown in figure 6 and figure 7. We normalize the received data for cancel the effect of distance, as in this paper we measure only over long term fading and flat fading environment.

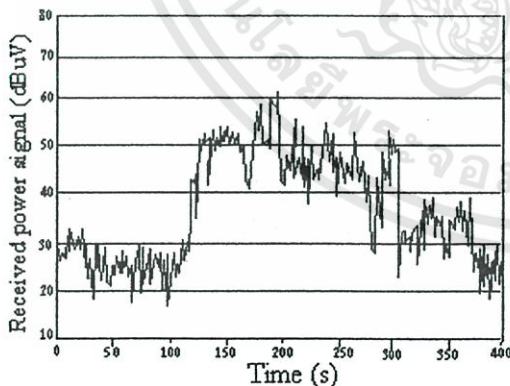


Figure 6. Received signal

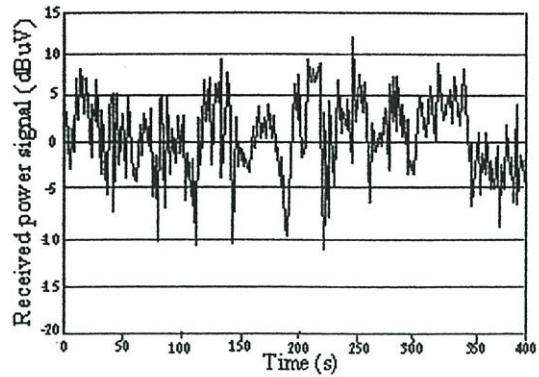


Figure 7. Normalized of Received signal.

## 4. FADING RESULT

Figure 8 and 10 shows the PDF graph of different fading distributions. The multi-path fading has the shape close to Gaussian distribution because the rural and suburban nearly no building and obstacle given the nearly no distribution of signal. Figure 9, 11 the CDF obtained from PDF is showed. Rural and suburban received data close to Gaussian distribution conform to figure 8.

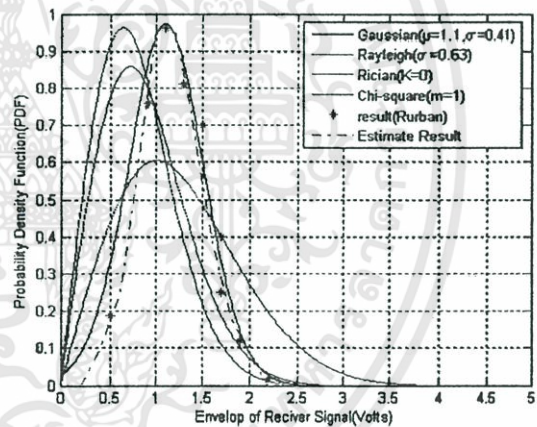


Figure 8. PDF of received signal in rural environment.

Fading factor were considered for overall performance of wave propagation and path loss model that impact to the system, the fading factor equation as follows.

$$\text{Fading Factor}(F_F) = \frac{1}{2}(\text{percentile}90\%) \quad (25)$$

## 5. CONCLUSION

This paper demonstrated the method to calculate cell station installation design and with fading factor from

table 1. Conclude equation of empirical path loss model for WLL as follows.

$$15.4 + 23.33 \log f_c (\text{MHz}) + 44.44 \log d (\text{km}) - a(h_{cs}) + F_f \\ = P_T (\text{dBW} : \text{EIRP}) - P_r (\text{dBm}) \quad (26)$$

The empirical path loss model for cell station installation is used and fixed a device in real environment. The field tried demonstrated that the model and device can good support for the service in coverage area around 2 kilometers of radius.

Table 1. Result of fading factor

	Suburban	Rural
Fading Length (dB)	9.45-20.96	4.32-12.5
Average Fading (dB)	15.48	8.15
Standard Deviation	2.09	1.86
Percent Tile 90%	18.33	9.94
Fading Factor	9.17	4.97

## REFERENCES

- [1] Ministry of Posts & Telecommunications (MPT), Japan, *Personal Handy-phone System Guidebook*, 1995
- [2] NEC Corporation, *PHS Cell Station Instruction Manual*, 1st Edition, December 1996.
- [3] P. Moungnoul, P. Tangtisanon and T. Paungma, "Cell Station Design for Personal communication Telephone" *Proc. of 6th IEEE International Workshop on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS'98)*, Melbourne, Australia, Vol.2, pp. 645-649, November 1998.
- [4] M. F. Catedra and J. P. Arriaga, *Cell Planning for Wireless Communications*, Artech Hose, 1999.
- [5] EURO-COST321, *Urban Transmission Loss Models for Small-Cell and Mobile Radio in the 900 and 1800 MHz Bands*, Propagation Model Report No. COST 231 TD (90) 119, revision 1., September 1991.
- [6] M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services" *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, Vol. 29, pp. 317-325, August 1980.
- [7] F. J. Ricci, *Personal Communications Systems Applications*, Prentice Hall, 1997.
- [8] P. Matthias, *Mobile Fading Channel*, John Wiley and Son, England, 2002.

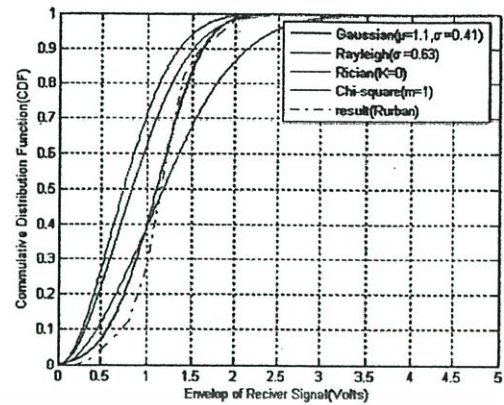


Figure 9. CDF of received signal in rural area environment.

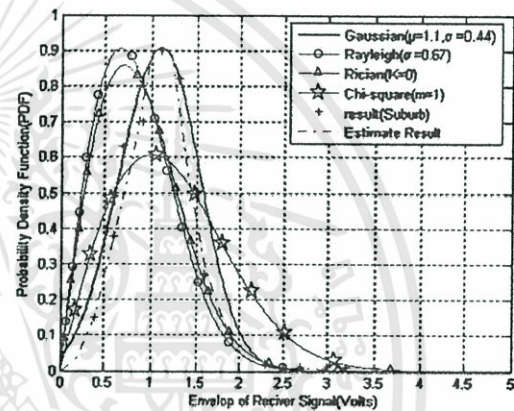


Figure 10. PDF of received signal in suburban area environment

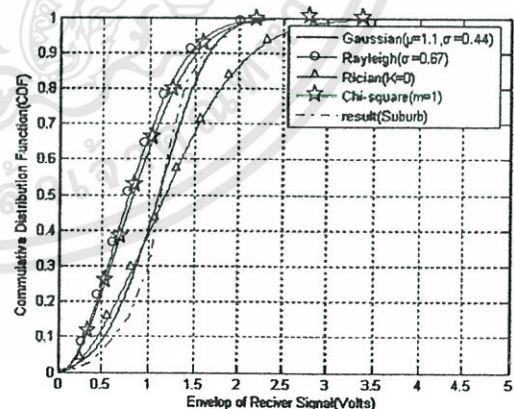


Figure 11. CDF of received signal in suburban area environment

## ประวัติผู้เขียน

นายสาธิต ชาญอุประการ เกิดเมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2520 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษา  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี  
สุรนารี ในปีการศึกษา 2543 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2546 โดยปัจจุบันทำงานในตำแหน่งวิศวกรเครือข่าย ฝ่ายปฏิบัติการ  
เครือข่ายและระบบ สำนักงานบริการสารสนเทศภาครัฐ (สบทร.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้