

การปรับปรุงจุดอ่อนของสัญญาณโทรศัพท์

IMPROVING THE WEAK SIGNAL OF CELLULAR PHONE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-010-055

# การปรับปรุงจุดอ่อนของสัญญาณโทรศัพท์

## IMPROVING THE WEAK SIGNAL OF CELLULAR PHONE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2562

KMITL-2019-EN-M-010-055

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPROVING THE WEAK SIGNAL OF CELLULAR PHONE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2019  
KMITL-2019-EN-M-010-055

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2019

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงจุดอับของสัญญาณโทรศัพท์
นักศึกษา	นายถาวร อภัยศิลา
รหัสประจำตัว	57601453
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.สิรภพ ตู้ประกาย

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเชื่อมต่อระบบคลื่นความถี่ของสัญญาณโทรศัพท์ที่มีจุดอับสัญญาณ โดยใช้เทคนิคการออกแบบติดตั้ง Site Remote หรือ Site Small Cell เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์ในพื้นที่อับสัญญาณให้สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อเทียบกับแบบเดิมที่มีการออกแบบไว้ และลดงบประมาณในการสร้างสถานีฐานลง จำลองการทำงานโดยใช้โทรศัพท์มือถือยี่ห้อ Samsung รุ่น J7 และโปรแกรม G-NetTrackLite และ Speedtest เพื่อเก็บผลจำลองการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Improving the Weak Signal of Cellular Phone
Student	Mr. Taworn Aphaisila
Student ID.	57601453
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr.Siraphop Tooprakai

## ABSTRACT

This paper described the connection of frequency wave system of cellular phone with low and unavailable signal. It used to install technique of adding one more point of site remote or site small cell as a site or connecting frequency wave system of cellular phone signal. The aim of this connection was to improve the cellular signal in the remote area. When comparing to old one, it could reduce the budget in constructing site with lower telecom tower. In collecting data, the sample model employed Samsung J7 and used a program in testing with G-NetTracLite and Speedtest.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.สิรภพ ตู้ประกาย ที่ให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลืออบรมสั่งสอน และคอยชี้แนะแนวทางเกี่ยวกับโครงงานวิจัยอย่างดีมาโดยตลอด ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากอาจารย์ จึงขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูง ขอขอบพระคุณพี่ น้อง ผองเพื่อนที่ให้การช่วยเหลือพร้อมทั้งยังให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่คอยเป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ถาวร อภัยศิลา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VI
สารบัญรูป .....	VII
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย .....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการทำวิจัย .....	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย .....	3
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย .....	3
1.5 รายละเอียดของงานวิจัย .....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและการออกแบบติดตั้งระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ .....	5
2.1 การสูญเสียกำลังของสัญญาณ (Path loss) .....	5
2.1.1 การสูญเสียกำลังของสัญญาณในพื้นที่ว่าง (Free Space Path Loss) .....	6
2.1.2 แบบจำลองการสูญเสียกำลังของ Okumura .....	9
2.1.3 แบบจำลองของ Hata .....	12
2.2 ชาโดว์อิงเฟดดิ้ง (Shadowing Fading) .....	14
2.3 มัลติพาทเฟดดิ้ง (Multipath Fading) .....	15
2.4 แบบจำลองการสูญเสียกำลังตามวิถีขึ้นกับระยะทาง (Large - Distance Path Loss Model) .....	15
2.5 สายอากาศ(Antennas) .....	16
2.5.1 สถานีฐานแบบรอบตัว (Omni Directional Antenna) .....	16
2.5.2 สถานีฐานแบบทิศทาง (Sector Antenna) .....	17
2.6 เสาส่งสัญญาณโทรคมนาคมมีอยู่ 5 แบบหลัก ๆ ได้แก่ .....	17
2.6.1 เสาโทรคมนาคมแบบ Self Support .....	17
2.6.2 เสาโทรคมนาคมแบบ Guyed Tower .....	18

2.6.3	เสาโทรคมนาคมแบบ Guyed Mast .....	19
2.6.4	เสาโทรคมนาคมแบบ Pole .....	19
2.6.5	เสาโทรศัพท์ในยุคปัจจุบัน .....	20
2.7	การออกแบบติดตั้งระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ .....	21
2.8	การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์คลื่นความถี่ต่าง ๆ ในสถานีฐาน .....	22
2.9	การคำนวณหาปริมาณความต้องการใช้งานหรือการจราจร (Traffic) .....	25
2.10	เงื่อนไขการออกแบบการติดตั้งไซต์รีโมท (Site Remote) .....	26
2.11	การวัดความแรงหรือความเข้มของสัญญาณ (RSSI) .....	26
บทที่ 3	ผลจำลองการทำงานก่อนเพิ่ม Site Remote .....	28
3.1	FlowChart การทำงานก่อนติดตั้ง SITE REMOTE .....	28
3.2	แผนที่แสดงตำแหน่งเก็บผลการจำลอง (Drive Test) .....	29
3.3	กราฟความแรงของสัญญาณ ดาวนโพลและอัฟโพลก่อนติดตั้ง ที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	33
บทที่ 4	ผลการทดลอง .....	34
4.1	FlowChart การทำงานหลังติดตั้ง SITE REMOTE .....	34
4.2	แผนที่แสดงตำแหน่งเก็บผลการจำลอง (Drive Test) .....	35
4.3	กราฟความแรงของสัญญาณ ดาวนโพลและอัฟโพลหลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	39
4.4	ข้อมูลความแรงของสัญญาณ ดาวนโพลและอัฟโพลก่อนติดตั้ง-หลังติดตั้ง ที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	40
4.5	กราฟเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณสัญญาณ ดาวนโพลและอัฟโพล ก่อนติดตั้ง-หลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	41
บทที่ 5	สรุป .....	43
	เอกสารอ้างอิง .....	44
	ภาคผนวก .....	45
	ประวัติผู้เขียน.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ค่า $n$ ที่ใช้ในการคำนวณหาการสูญเสียกำลังของสัญญาณในสถานที่ต่าง ๆ .....	6
3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการติดตั้งในสถานีฐานที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	31
3.2 ค่าความแรงของสัญญาณ ค่าความไวโพลดและค่าอัฟโพลดก่อนติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	32
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการติดตั้งในสถานีฐานที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	37
4.2 ค่าความแรงของสัญญาณ ค่าความไวโพลดและอัฟโพลดหลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	38
4.3 ความแรงของสัญญาณ ค่าความไวโพลดและอัฟโพลดก่อนติดตั้ง-หลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	40



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 สถานีฐานเชื่อมต่อโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM .....	1
1.2 โครงข่ายที่มีหลายคลื่นความถี่ในหนึ่งสถานีเชื่อมโยงกัน .....	2
2.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทาง .....	7
2.2 ค่าการลดทอนของสัญญาณในบริเวณเมือง (urban) โดยเทียบอยู่กับค่าการสูญเสีย ของสัญญาณในบริเวณอวกาศว่างตามแบบจำลองของ Okumura ความสูงของสายอากาศ ของสถานีฐานเท่ากับ 200 เมตร และความสูงของสายอากาศโทรศัพท์เท่ากับ 3 เมตร .....	10
2.3 ค่าแฟกเตอร์แก้ไข (correction factor) สำหรับการส่งสัญญาณในบริเวณพื้นที่ มีสภาพต่างไปจากสภาพในเมือง .....	11
2.4 ชาโดว์อิงเฟดดิ้ง(Shadowing Fading) .....	14
2.5 มัลติพาทเฟดดิ้ง (Multipath Fading) .....	15
2.6 (ก) Omni Directional Antenna, (ข) Omni Directional .....	16
2.7 (ก) Sector Antenna, (ข) Sector Directional .....	17
2.8 เสา Self Support .....	17
2.9 เสา Guyed Tower .....	18
2.10 เสา Guyed Mast .....	19
2.11 เสา Pole .....	19
2.12 เสาโทรศัพท์ในรูปแบบต่าง ๆ ในยุคปัจจุบันที่พัฒนาขึ้น .....	20
2.13 องค์ประกอบพื้นฐานในการติดตั้งอุปกรณ์ .....	22
2.14 รูปแบบการติดตั้งคลื่นความถี่ 850 MHz, 900 MHz .....	23
2.15 รูปแบบการติดตั้งคลื่นความถี่ 850/900 MHz, 1800 MHz .....	23
2.16 รูปแบบการติดตั้งคลื่นความถี่ 2100 MHz, 1800/2100 MHz .....	24
2.17 รูปแบบการติดตั้งคลื่นความถี่ 900/1800/2100 MHz .....	24
2.18 รูปแบบการติดตั้งคลื่นความถี่ 850/900/1800/2100 MHz .....	25
2.19 การดูค่าความเข้มของสัญญาณจากโปรแกรม G-NetTracLite และ WifiAnalyser .....	27

## สารบัญรูป (ต่อ)

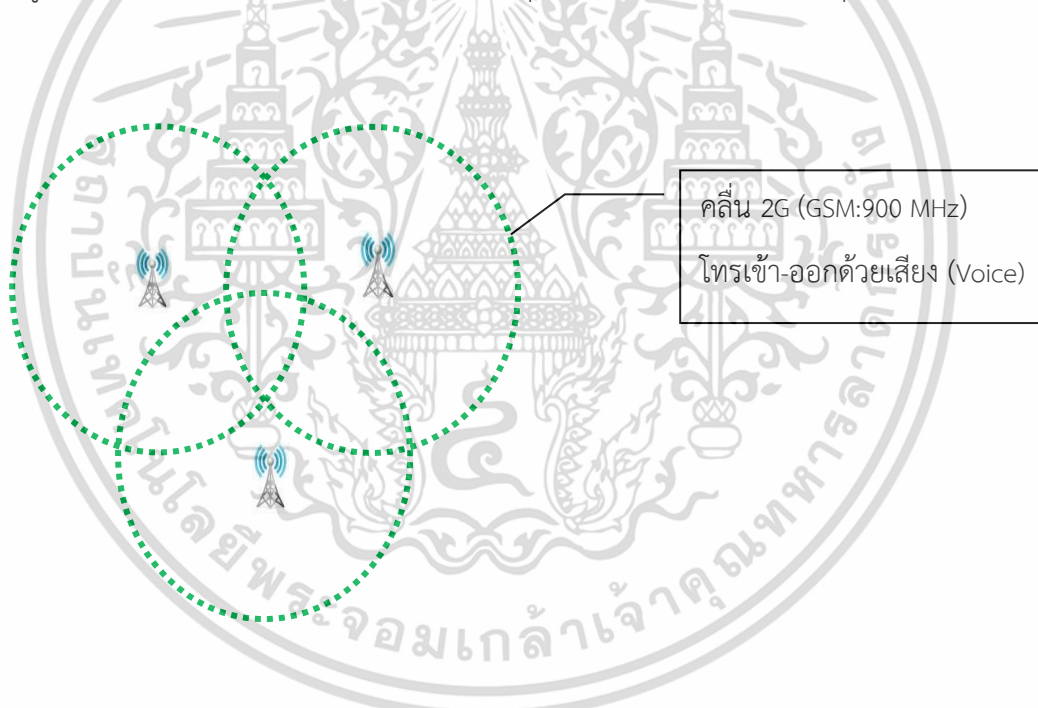
รูปที่	หน้า
3.1 การทำงานโครงข่ายของ Cellular ก่อนติดตั้ง Site Remote .....	28
3.2 แสดงตำแหน่งโครงข่ายของ Cellular จากสถานีฐาน A ไปหาสถานีฐาน B ก่อนเพิ่ม site remote .....	29
3.3 กราฟความแรงของสัญญาณก่อนติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	33
3.4 กราฟการดาวน์โหลดและอัปโหลดก่อนติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	33
4.1 การทำงานโครงข่ายของ Cellular หลังติดตั้ง Site Remote .....	34
4.2 แสดงตำแหน่งการเพิ่ม site remote (AB = BASE STATION AB) เป็นสถานีฐานเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์ .....	35
4.3 กราฟความแรงของสัญญาณหลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	39
4.4 กราฟการดาวน์โหลดและอัปโหลดหลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	39
4.5 กราฟเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณสัญญาณก่อนติดตั้ง-หลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	41
4.6 กราฟเปรียบเทียบการดาวน์โหลดและอัปโหลดก่อนติดตั้ง-หลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz .....	41

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

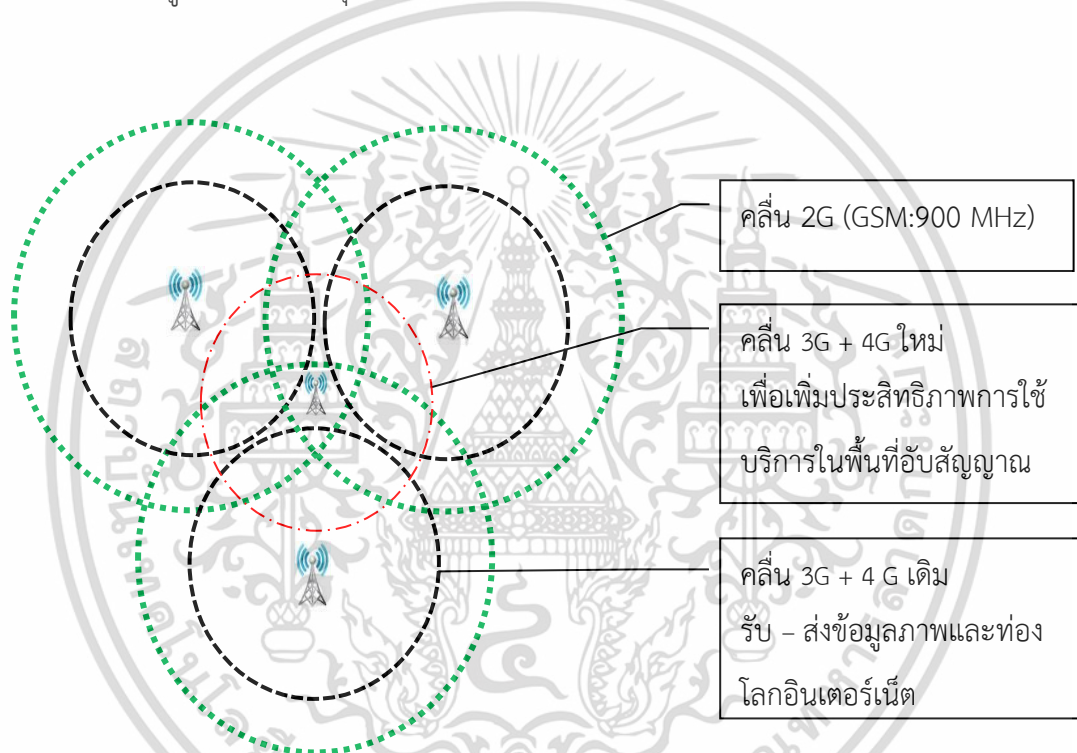
เนื่องจากการสื่อสารแบบเสียงและการส่งข้อมูลหรือดาต้า (Data) มีบทบาทและความสำคัญมากขึ้นในชีวิตประจำวัน เช่น การใช้โทรศัพท์มือถือแบบเสียง (Voice) การส่งข้อความหากันผ่านทาง SMS การติดต่อสื่อสารกันแบบส่งข้อมูลได้แก่ การส่ง E-mail, Line, What App, Face Book, Twitter และอีกหลาย ๆ ช่องทางผ่านแอปพลิเคชันต่าง ๆ ซึ่งการออกแบบระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณ การให้บริการใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและครอบคลุมพื้นที่ให้บริการให้ได้มากที่สุด



รูปที่ 1.1 สถานีฐานเชื่อมต่อโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM [1]

ในยุคแรกๆที่ไทยเราได้มีการใช้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ GSM โดยกำหนดให้ใช้ความถี่เดียวที่ย่าน 900 MHz ดังรูปที่ 1.1 [1] ตามมาตรฐาน ITU (International Telecommunication Union) ซึ่งได้มีการออกแบบและติดตั้งสถานีฐาน (Base Station or Base Transceiver Station (BTS)) ทำงานคู่กับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ภายในโครงข่ายของระบบ Cellular คือสถานีฐาน BTS จะเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์ GSM ไปยังโครงข่าย ซึ่งการติดต่อระหว่างตัวเครื่องโทรศัพท์ GSM กับสถานีฐานใช้การเชื่อมต่อแบบผ่านอากาศหรือ Radio Interface (Um) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

เนื่องจากการตั้งสถานีฐานในยุคแรก ๆ ในประเทศไทยใช้ความถี่ย่าน 900 MHz ซึ่งความถี่ย่านนี้มีคุณสมบัติของคลื่นวิทยุที่เดินทางได้ไกล เหมาะกับการใช้ติดตั้งในพื้นที่ห่างไกล หรือตั้ง cell site ห่าง ๆ กัน โดยมีกำลังส่งสูงสุดได้ถึง  $\leq 100$  วัตต์ ระยะส่งเริ่มจาก 1-30 กิโลเมตรขึ้นอยู่กับสิ่งแวดล้อมและองค์ประกอบอื่นด้วย จึงทำให้มีสถานีฐานที่ห่างกัน ซึ่งการสร้างสถานีฐานในยุคนั้นใช้งบประมาณในการสร้างเสาโทรคมนาคมที่มีราคาสูงมากและกลุ่มคนใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ในยุคนั้นในประเทศไทยเราน้อยมาก ซึ่งกลุ่มคนที่ใช้ได้แก่ นักธุรกิจ เศรษฐี เพราะราคาเครื่องโทรศัพท์ค่อนข้างแพง โดยการใช้งานหลัก ๆ จะเป็นการโทรเข้า-ออกด้วยเสียง (Voice) การส่งข้อความผ่านทาง SMS และการส่งข้อมูลหรือด่ำต้าในยุคนั้นด้วยความเร็วที่ต่ำโดยใช้เทคโนโลยีแบบ GPRS และ EDGE



รูปที่ 1.2 โครงข่ายที่มีหลายย่านความถี่ในหนึ่งสถานีเชื่อมโยงกัน [1]

ต่อมาได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นไปเรื่อย ๆ จากยุค 2G ที่เป็น GSM (GPRS/EDGE) ไปเป็นยุค 3G (WCDMA/HSPA+/UMTS) และยุค 4G (LTE/LTE-A) ตามลำดับ ซึ่งประเทศไทยเราตอนนี้มีคลื่นสื่อสารเพื่อให้บริการบนคลื่นความถี่ ได้แก่ คลื่นความถี่ 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz และ 2300 MHz ดังรูปที่ 1.2 [1] เพื่อรองรับการใช้งานที่จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในปัจจุบันจะพบว่าผู้คนใช้ดาต้าสื่อสารกันในแต่ละเดือนมากกว่าการใช้การสื่อสารด้วยการโทรเข้า-ออกด้วยเสียงมากขึ้นทุกที ยิ่งความต้องการใช้งานดาต้ายิ่งมากขึ้น ความหนาแน่นในการใช้เครือข่ายของระบบโทรศัพท์มือถือก็ต้องการมากขึ้นด้วย ซึ่งจากสถานีฐานในยุคเดิมที่เป็น GSM รวมไปถึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยุคที่พัฒนาขึ้นมาเรื่อย ๆ จนถึงปัจจุบันก็ยังมีปัญหา คือมีจุดอับสัญญาณ การแย่งใช้ช่องสัญญาณ เนื่องจากมีผู้คนอยู่เป็นจำนวนมาก การกวนกันของสัญญาณคลื่นความถี่เดียวกัน ความสูงของเสา ความถี่ที่ส่ง กำลังส่ง ภูมิประเทศและสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น สภาพอากาศ ความชื้น ตำแหน่งความสูงของสายอากาศ ดังนั้นจึงนำไปสู่การออกแบบการติดตั้งสถานีฐานขนาดเล็กกลงกว่าเดิมเพิ่มเติมเข้าไป ซึ่งมีชื่อเรียกว่า site remote หรือ site small cell เพื่อให้การใช้งานคลื่นความถี่ของสัญญาณโทรศัพท์เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพและรองรับการใช้งานในรูปแบบเสียง (Voice) และข้อมูล (Data) ได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนการใช้งานจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับคุณภาพของสัญญาณระยะทางจากสถานีฐาน (Cell Site) กับเครื่องโทรศัพท์

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

ในการออกแบบติดตั้ง Site Remote หรือ Site Small Cell เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้บริการในพื้นที่อับสัญญาณและต้องการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับเสาส่งสัญญาณโทรศัพท์ องค์ประกอบพื้นฐานเกี่ยวกับตัวอุปกรณ์ การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ในย่านความถี่ 850 MHz, 900 MHz, 1800 และย่านความถี่ MHz, 2100 MHz การวัดความแรงหรือความเข้มของสัญญาณก่อน-หลังติดตั้ง Site Remote ค่าความโหดและอโหดก่อน-หลังติดตั้ง Site Remote

## 1.3 วัตถุประสงค์ของการทำวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการปรับปรุงจุดอับของสัญญาณโทรศัพท์ โดยใช้เทคนิคการออกแบบติดตั้ง Site remote หรือ Site Small Cell เพื่อเพิ่มจุดเชื่อมต่อคลื่นความถี่ของสัญญาณโทรศัพท์ ซึ่งเป็นสถานีฐานที่มีขนาดเล็กใช้งบประมาณในการสร้างต่ำ เพื่อเชื่อมต่อระบบสัญญาณโทรศัพท์ให้ใช้งานได้ต่อเนื่องและครอบคลุมพื้นที่ให้บริการให้ได้มากที่สุด

## 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการออกแบบติดตั้งติดตั้ง Site Remote ในย่านความถี่ 2100 MHz ซึ่งจะประกอบด้วย เสาส่งสัญญาณโทรศัพท์และการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ แสดงข้อมูลและกราฟการเปรียบเทียบความแรงหรือความเข้มของสัญญาณก่อน-หลังติดตั้ง Site Remote ค่าความโหดและอโหดก่อน-หลังติดตั้ง Site Remote จำลองการทำงานโดยใช้โทรศัพท์มือถือยี่ห้อ Samsung รุ่น J7 และใช้โปรแกรม G-NetTracLite และ Speedtest ในการเก็บผลการทำงาน

### 1.5 รายละเอียดของงานวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้แบ่งออกเป็น 5 บท โดยในบทที่ 1 จะเป็นการกล่าวนำ ที่มาของงานวิจัย จุดประสงค์และรายละเอียดของงานวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึง ทฤษฎีและการออกแบบติดตั้งระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

บทที่ 3 กล่าวถึงผลการทดลองก่อนเพิ่ม site remote

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองหลังเพิ่ม site remote และเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ของผลการทดลองก่อน-หลัง เพิ่ม site remote

บทที่ 5 กล่าวถึง สรุปผลการวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและการออกแบบติดตั้งระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

การสื่อสารระบบเซลลูลาร์ อาศัยคลื่นวิทยุเป็นตัวกลางในการรับส่งข่าวสาร ซึ่งมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อระบบบนช่องสัญญาณ อันได้แก่ สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ เช่น สิ่งปลูกสร้าง เนินเขาสูง อาคาร การเคลื่อนที่ระหว่างการสื่อสาร และระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง เป็นต้น จากคุณลักษณะของกาแพร่กระจายคลื่นของระบบโทรศัพท์จะเป็นตัวจำกัดสมรรถนะของระบบโทรศัพท์ โดยที่วิถีการส่งคลื่นระหว่างภาครับและภาคส่งอาจอยู่ในระดับสายตา หรือมีสิ่งกีดขวาง ทำให้ส่งผลต่อการวิเคราะห์วิถีการส่งคลื่นบางครั้งทำได้ยาก และความเร็วของโทรศัพท์ก็ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของระดับสัญญาณในการรับคลื่นได้ จึงทำให้แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้แบบจำลองทางสถิติจากการวัดสัญญาณคลื่น เพื่อตรวจวัดระบบสื่อสารที่ต้องการใช้งานในย่านความถี่ต่าง ๆ

### 2.1 การสูญเสียกำลังของสัญญาณ (Path loss)

การสูญเสียกำลังของสัญญาณเป็นการลดทอนของสัญญาณที่แปรตามระยะทางระหว่างภาคส่งและภาครับโดยที่ค่าเฉลี่ยกำลังของสัญญาณจะลดลงตามค่า  $d^{-n}$  โดยที่  $d$  คือระยะทางระหว่างภาครับและภาคส่ง ส่วน  $n$  เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งมีขนาดแตกต่างกันออกไปตามสภาพของพื้นที่สัญญาณส่งผ่านดูตัวอย่างของค่า  $n$  สำหรับการคำนวณหาค่าการสูญเสียกำลังของสัญญาณในพื้นที่ต่าง ๆ ในตารางที่ 1 จะสังเกตเห็นว่าค่าอัตราการลดทอนของสัญญาณมีค่าที่สูงในพื้นที่เขตเมืองใหญ่ เมื่อเทียบกับพื้นที่ว่างเปล่าเกิดจากการบดบังของสัญญาณเนื่องมาจากมีสิ่งกีดขวาง เช่น อาคาร ตึก สถานที่ และอื่น ๆ

ตารางที่ 1 ค่า n ที่ใช้ในการคำนวณหาการสูญเสียกำลังของสัญญาณในสถานที่ต่าง ๆ

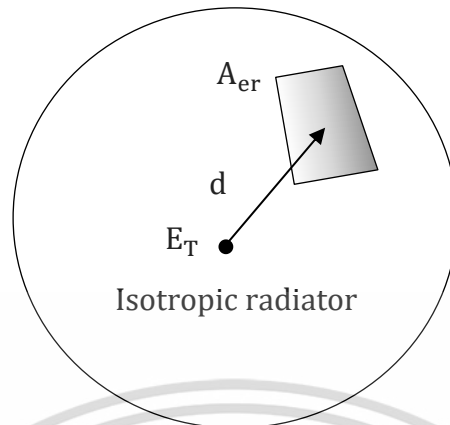
สภาพแวดล้อม	n
พื้นที่ว่าง	2
พื้นที่เขตเมือง	2.7 – 3.5
พื้นที่เขตเมืองที่ถูกบดบัง	3 – 5
พื้นที่อาคารที่มีเส้น LOS	1.6 – 1.8
พื้นที่อาคารที่มีสิ่งกีดขวาง	4 – 6
พื้นที่โรงงานที่มีสิ่งกีดขวาง	2 -3

### 2.1.1 การสูญเสียกำลังของสัญญาณในพื้นที่ว่าง (Free Space Path Loss)

ระบบสื่อสารไร้สาย (wireless communication) สัญญาณที่กำเนิดขึ้นเนื่องจากภาคส่ง เช่น สถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะนำไปป้อนเข้าสายอากาศ เพื่อแปลงสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ไปเป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic หรือ EM field) สำหรับแพร่กระจายผ่านสื่อสัญญาณ ซึ่งโดยทั่วไปคืออากาศ เมื่อสัญญาณเดินทางไปถึงภาครับ เช่น เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะมีสายอากาศสำหรับรับสัญญาณ ซึ่งทำหน้าที่กลับกันกับที่ภาคส่งคือรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อแปลงกลับให้เป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ ในการแพร่กระจายสัญญาณจะเริ่มพิจารณาจากแหล่งแผ่สัญญาณแบบทุกทิศทางทุกทาง ดังรูปที่ 2.1 ฉะนั้นถ้ากำหนดให้  $E_T$  เป็นกำลังของแหล่งกำเนิดสัญญาณ แล้วความหนาแน่นกำลังของสัญญาณที่ตำแหน่งห่างกันออกไปเป็นระยะ  $d$  จะมีค่าเท่ากับ

$$P(d) = \frac{E_T}{4\pi d^2} \quad \frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \quad (2.1)$$

โดยที่  $4\pi d^2$  คือ พื้นที่ผิวของทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับ  $d$



รูปที่ 2.1 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบทุกทิศทุกทาง

ที่มา : สัญกรณ์ วุฒิสหิติกุลกิจ (2546)

ถ้านำสายอากาศหนึ่งไปรับสัญญาณที่ตำแหน่งระยะห่างจากภาคส่งเท่ากับ  $d$  กำลังของสัญญาณที่รับได้จะมีค่าเท่ากับ

$$E_R = \frac{P(d)A_{er}}{4\pi d^2} \quad \frac{\text{watt}}{\text{m}^2} \quad (2.2)$$

โดยที่  $A_{er}$  คือขนาดพื้นที่ผิวของสายอากาศที่สามารถรับสัญญาณได้ (effective area) ณ ที่ภาครับสัญญาณ ดังสมการที่ 2.3

$$A_{er} = \frac{\text{total power extracted}}{\text{Incident power flux density}} \quad (2.3)$$

ในกรณีที่เรานำสายอากาศมาใช้ส่งสัญญาณที่ภาคส่ง เราจะนิยามพื้นที่ผิวดังกล่าวไว้ว่า  $A_{et}$  และถ้าสายอากาศที่พิจารณาข้างต้นไม่มีการระบุชัดเจนว่าเป็นสายอากาศส่งหรือรับก็จะเรียกนิยามค่าขนาดพื้นที่ผิวดังกล่าวไว้ว่า  $A_p$  โดยทั่วไปขนาดของพื้นที่ผิว  $A_p$  มีความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ผิวทางกายภาพของสายอากาศ  $A_e$  ดังสมการที่ 2.4

$$A_p = \eta A_e \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $\eta$  คือ ค่าที่บ่งถึงประสิทธิภาพของสายอากาศ ซึ่งมีค่าประมาณ 0.55 สำหรับสายอากาศแบบจานพาราโบลา (parabolic shaped reflector) และมีค่า 0.75 สำหรับสายอากาศรูปฮอร์น (horn shaped antenna)

Gain หรือเรียกสั้น ๆ ว่า  $A$  คือค่าอัตราขยายของสายอากาศนี้เป็นการเปรียบเทียบความสามารถในการรับกำลังของสัญญาณ สำหรับทิศทางใดทิศทางหนึ่งเทียบกับความสามารถในการรับกำลังของสัญญาณจากพื้นผิวของทรงกลมค่าอัตราขยายของสายอากาศ  $A$  มีความสัมพันธ์กับขนาดพื้นที่ผิวของสายอากาศที่สามารถรับสัญญาณ  $A_e$  ดังสมการที่ 2.5

$$A = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (2.5)$$

โดยที่  $\lambda$  คือ ค่าความยาวคลื่นซึ่งสัมพันธ์กับความถี่  $f$  ในรูป  $c = \lambda f$  เมื่อ  $c$  เป็นความเร็วของแสง  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

พิจารณาสมการที่ 2.2 โดยอาศัยความสัมพันธ์จากสมการที่ 2.5 ประกอบกับเพิ่มเติมถึงกรณีที่สายอากาศส่งมีค่าอัตราขยายเท่ากับ  $A_T$  จะได้สมการที่ 2.6

$$E_R = \frac{E_T A_R A_T}{(4\pi)^2 d^2} \quad (2.6)$$

สมการความสัมพันธ์นี้มีชื่อเรียกกันทั่วไปว่า Friis transmission equation เป็นการส่งคลื่นสัญญาณผ่านอากาศว่าง เราจะนิยามให้ค่าการสูญเสียเชิงวิถีในอากาศว่าง (Free space path loss) มีค่าเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณที่รับได้ต่อกำลังของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา ซึ่งเป็นการลดทอนกำลังของสัญญาณตามระยะทาง ยิ่งผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เคลื่อนที่ที่ออกห่างจากสถานีฐานมากเท่าไรความเข้มของสัญญาณที่ได้รับจะที่ลดลงเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่เพิ่มขึ้นแบบยกกำลังสอง โดยไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างภาครับและภาคส่งของสายอากาศ ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างกำลังของสัญญาณที่ได้รับมาต่อกำลังของสัญญาณที่ถูกส่งออกมา มีความสัมพันธ์กันดังสมการที่ 2.7

$$\frac{E_R}{E_T} = A_R A_T \left[ \frac{\lambda}{4\pi d} \right]^2 \quad (2.7)$$

โดยที่  $E_R$  คือ กำลังของของสัญญาณที่ได้รับ

$E_T$  คือ กำลังของของสัญญาณที่ส่งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$A_R$  คืออัตราขยายของสายอากาศภาครับ

$A_T$  คืออัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง

$\lambda$  คือ ค่าความยาวของคลื่น ซึ่ง  $\lambda = \frac{C}{f}$  โดยที่  $C$  เป็นค่าความเร็วของแสง  $3 \times 10^8$  m/s

$f$  คือ ความถี่สัญญาณ (Hz)

$d$  คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานกับโทรศัพท์ (m)

โดยที่ค่าการสูญเสียกำลังของสัญญาณมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) มีค่าเท่ากับดังสมการที่ 2.2

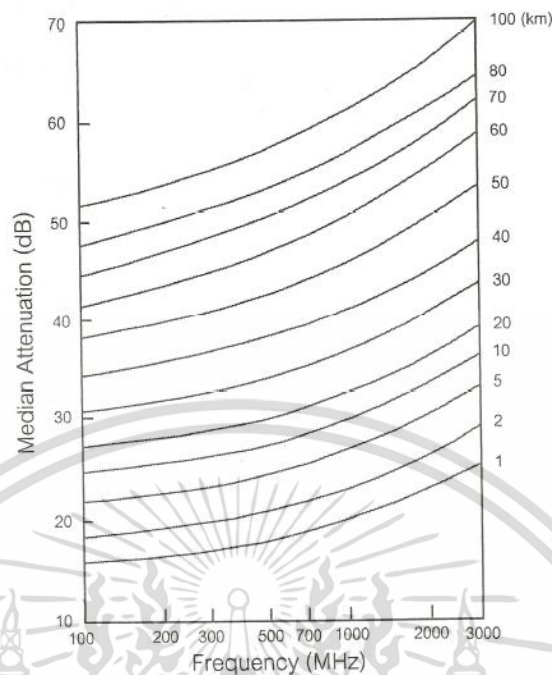
$$L = 32.44 + 20 \log(f) + 20 \log(d) - 10 \log(A_T) - 10 \log(A_R) \quad (2.8)$$

เมื่อ  $d$  มีหน่วยเป็นกิโลเมตรและ  $f$  มีหน่วยเป็นเมกะเฮิรตซ์

จากสมการจะพบว่าค่าการสูญเสียกำลังของสัญญาณจะเพิ่มขึ้นตามระยะทางและค่าความถี่สัญญาณ

### 2.1.2 แบบจำลองการสูญเสียกำลังของ Okumura

จากแบบจำลองหาค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการสูญเสียเชิงวิถีในระบบจริงนั้นมีความซับซ้อนและยุ่งยากมากเพราะมีองค์ประกอบต่าง ๆ มากมายที่ต้องนำมาพิจารณา โดยเฉพาะสภาพแวดล้อมที่สัญญาณส่งผ่านซึ่งมีความแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณการใช้งาน และยังสามารถเปลี่ยนแปลงไปหากมีการเคลื่อนไหวของผู้ใช้บริการหรือวัตถุรอบข้าง การคำนวณค่าการสูญเสียเชิงวิถีให้ถูกต้องอยู่ตลอดเวลาจึงเป็นเรื่องที่กระทำได้ยากมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมักอาศัยค่าประมาณที่ได้จากการวัดสภาพการใช้งานจริงเพื่อนำมาใช้ในการจำลองการลดทอนของสัญญาณของระบบ โดยแบบจำลองหนึ่งที่มีความสนใจมากเป็นพิเศษ คือแบบจำลองของ Okumura ซึ่งได้จากการวัดหาค่าการลดทอนของสัญญาณในบริเวณเมืองโตเกียวแล้วนำค่าที่วัดได้นี้มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อวาดเป็นกราฟสำหรับใช้ในการจำลองการส่งผ่านสัญญาณในบริเวณเมืองใหญ่ ค่าเหล่านี้ได้กำหนดให้เป็นค่ามาตรฐานกลาง และถ้าหากต้องการค่าการลดทอนของสัญญาณในบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมต่างจากนี้ไป เช่น ในบริเวณชนบท หรือมีการเปลี่ยนค่าความสูงของสายอากาศที่ใช้ ก็จะต้องอาศัยแฟกเตอร์ชุดหนึ่งที่เรียกว่า แฟกเตอร์แก้ไข (correction factor) ในการปรับค่าเหล่านี้ให้ถูกต้องยิ่งขึ้น

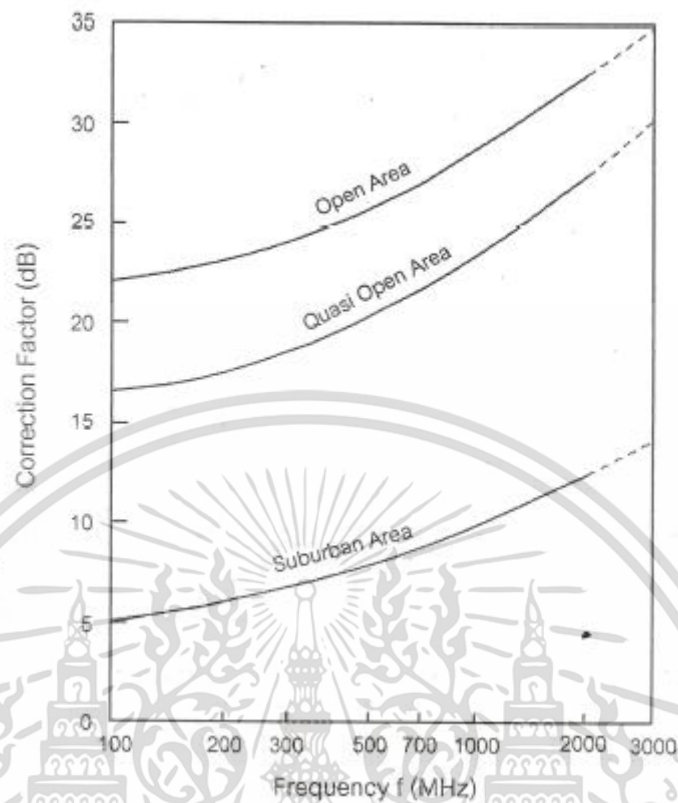


**รูปที่ 2.2** ค่าการลดทอนของสัญญาณในบริเวณเมือง (urban) โดยเทียบอยู่กับค่าการสูญเสียของสัญญาณในบริเวณอวกาศว่างตามแบบจำลองของ Okumura ความสูงของสายอากาศของสถานีฐานเท่ากับ 200 เมตร และความสูงของสายอากาศโทรศัพท์เท่ากับ 3 เมตร

ที่มา : สัญกรณ์ วุฒิสหัทธกุลกิจ (2546)

จากรูปที่ 2.1 แสดงค่าการลดทอนของสัญญาณที่ค่าความถี่ต่าง ๆ ระหว่าง 100-3000 MHz ที่ได้จากผลการวัดของ Okumura ในบริเวณเมือง โดยความสูงของสายอากาศของสถานีฐานที่ใช้มีค่าเท่ากับ 200 เมตร และความสูงของสายอากาศโทรศัพท์เท่ากับ 3 เมตร ระยะทางระหว่างสายอากาศ 2 ชุดนั้นกำหนดให้เป็นค่าจาก 1 km ถึง 100 km สังเกตว่าค่าการลดทอนของสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ที่ใช้ นั่นคือยิ่งความถี่ที่ใช้สูงขึ้นก็จะมี การลดทอนของสัญญาณมากขึ้นด้วย จากกราฟในรูปจะเห็นว่าถ้าเราใช้ความถี่ 900 MHz ในการส่งสัญญาณผ่านบริเวณในเมืองในระยะ 1 km จะมีการลดทอนของสัญญาณสูงเพิ่มขึ้น 20 dB จากค่าการสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากการสูญเสียเชิงวิถีในอวกาศว่าง (free space path loss) ที่ได้อธิบายไว้ในข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ค่าแฟกเตอร์แก้ไข (correction factor) สำหรับการส่งสัญญาณในบริเวณพื้นที่มีสภาพต่างไปจากสภาพในเมือง

ที่มา : สัญฉกร วุฒิสหธิกุลกิจ (2546)

จากกรณีที่เราต้องการหาค่าการลดทอนของสัญญาณในบริเวณชานเมือง โดยปกติแล้วจะมีค่าการลดทอนของสัญญาณที่น้อยกว่าในเมือง เราจะใช้กราฟอีกรูปหนึ่งซึ่งทำหน้าที่เป็นแฟกเตอร์แก้ไข (correction factor) เพื่อนำมาลบกับค่าที่หาได้จากกราฟในรูปที่ 2.2 โดยให้ดูตัวอย่างของกราฟนี้ในรูปที่ 2.3 จากเส้นกราฟจะสังเกตเห็นว่าที่ค่าความถี่สูง ๆ ค่าแฟกเตอร์แก้ไขก็จะมีขนาดใหญ่อขึ้นด้วย ซึ่งหมายความว่า การส่งสัญญาณในบริเวณชานเมืองด้วยความถี่สูง ๆ จะได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีขึ้นมากกว่าการส่งสัญญาณในเมือง ถ้าหากสายอากาศของสถานีฐานหรือเครื่องโทรศัพท์มีความสูงที่เปลี่ยนไปหักออกจากค่าที่อ่านได้จากข้างต้น ดังสมการที่ 2.9

$$G(h_c) = 20 \log\left(\frac{h_c}{200}\right) \quad \text{เมื่อ } 10 \text{ m} < h_c < 1000 \text{ m}$$

$$G(T_H) = 10 \log\left(\frac{T_H}{3}\right) \quad \text{เมื่อ } T_H < 3 \text{ m}$$

$$G(T_H) = 20 \log\left(\frac{T_H}{3}\right) \quad \text{เมื่อ } 3 \text{ m} < T_H < 10 \text{ m} \quad (2.9)$$

โดยที่  $h_c$  คือ ความสูงของสายอากาศของสถานีฐาน

$T_H$  คือ ความสูงของสายอากาศของเครื่องโทรศัพท์

จากการเพิ่มความสูงของสายอากาศที่สถานีฐานช่วยให้คุณภาพของสัญญาณดีขึ้นได้ถึง 20 dB/decade แต่ในขณะที่การเพิ่มความสูงของสายอากาศที่อุปกรณ์โทรศัพท์จะช่วยเพิ่มคุณภาพเพียง 10 dB/decade สำหรับในกรณีที่สายอากาศมีความสูงน้อยกว่า 3 m ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเราใช้สายอากาศของสถานีฐานที่มีความสูงเป็น 2 เท่า ก็คือ 400 m จะส่งผลให้สัญญาณที่รับได้มีค่าการลดทอนถึงประมาณ 6 dB

### 2.1.3 แบบจำลองของ Hata

จากแบบจำลองของ Okumura ที่ใช้ในการคำนวณค่าการลดทอนของสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่มีความยุ่งยากและไม่สะดวกในการนำมาใช้มากนัก Hata จึงได้ทำการคิดค้นสมการแบบจำลองและใช้แทนทฤษฎีของ Okumura ได้ 3 รูปแบบตามสภาพแวดล้อม ดังนี้

#### 1. เขตพื้นที่เมือง

สามารถคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณได้ดังสมการที่ 2.10

$$L_B = 69.55 + 26.16 \log(f) + (44.9 - 6.55 \log(h_c)) \log(d) - 13.82 \log(h_c) - T_H \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขตพื้นที่เมืองแยกออกได้อีก 2 เขตพื้นที่ได้แก่

### 1.1 เขตพื้นที่เมืองที่มีขนาดใหญ่

สามารถคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณได้ดังสมการที่ 2.11

$$\begin{aligned} T_H &= 8.29[\log(1.54h_T)]^2 \\ T_H &= 3.2[\log(11.75h_T)]^2 - 4.97 \end{aligned} \quad (2.11)$$

### 1.2 เขตพื้นที่เมืองขนาดกลางและขนาดเล็ก

สามารถคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณได้ดังสมการที่ 2.12

$$T_H = [1.1 \log(f) - 0.7]h_T - [1.56 \log(f)] - 0.8 \quad (2.12)$$

โดยที่  $L_B$  คือ การลดทอนสัญญาณในเขตพื้นที่เมือง มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)  
 $h_c$  คือ ความสูงของสายอากาศด้านสถานีฐาน มีหน่วยเป็นเมตร (m)  
 $h_T$  คือ ความสูงของสายอากาศด้านโทรศัพท์เคลื่อนที่มีหน่วยเป็นเมตร (m)  
 $f$  คือ ความถี่ของภาคส่งมีหน่วยเป็นเมกะเฮิรตซ์ (MHz)  
 $T_H$  คือ ความสูงของแฟกเตอร์แก้ไขของสายอากาศ correction factor  
 $d$  คือ ระยะทางระหว่างสถานีฐานกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่มีหน่วยเป็นกิโลเมตร

### 2. เขตพื้นที่ชานเมืองรอบนอก

สามารถคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณได้ดังสมการที่ 2.13

$$L_{TA} = L_B - 2\left[\log\left(\frac{f}{128}\right)\right]^2 - 5.4 \quad (2.13)$$

โดยที่  $L_{TA}$  คือ การลดทอนสัญญาณในเขตพื้นที่ชานเมืองรอบนอก มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)

### 3. เขตพื้นที่ชนบท

สามารถคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณได้ดังสมการที่ 2.14

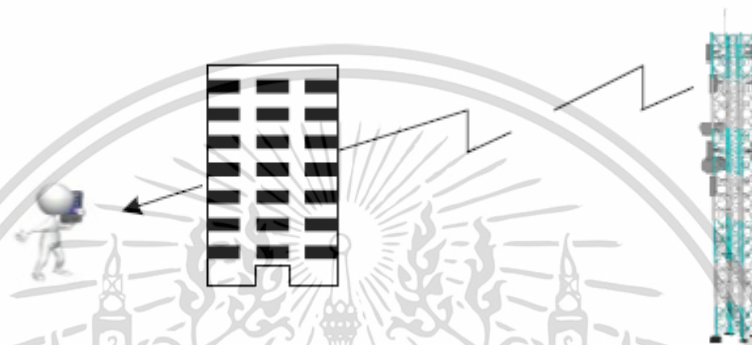
$$L_S = L_p - 4.78[\log(f)]^2 + 18.33 \log(f) - 40.94 \quad (2.14)$$

โดยที่  $L_S$  คือ การลดทอนสัญญาณในเขตพื้นที่ชนบท มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการของ Hata ใช้ในการคำนวณค่าการลดทอนของสัญญาณได้ใกล้เคียงกับแบบจำลองของ Okumura ในระยะทางที่มากกว่าหนึ่งกิโลเมตรซึ่งเหมาะกับระบบเซลล์ที่มีขนาดใหญ่และเป็นประโยชน์มากในทางปฏิบัติ

## 2.2 ซาโดว์อิงเฟดดิ้ง (Shadowing Fading)



รูปที่ 2.4 ซาโดว์อิงเฟดดิ้ง(Shadowing Fading)

ซาโดว์อิงเฟดดิ้งเกิดจากการบดบังสัญญาณระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับสถานีฐาน ที่เกิดจากสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางเช่น อาคารสูง ต้นไม้ทึบ ภูเขา พื้นที่สูงเนิน เป็นต้น ซึ่งส่งผลต่อการลดและเพิ่มความเข้มของสัญญาณโทรศัพท์ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยค่าหนึ่งที่คำนวณได้จาก path loss โดยการใส่ล็อกให้กับความแรงของสัญญาณ จะได้แบบจำลองของสมการความหนาแน่นของความน่าจะเป็นดังสมการที่ 2.8

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(T-T_A)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.8)$$

โดยที่  $X$  คือ  $10\log(x)$  มีหน่วยเป็น (dBm)

$T_A$  คือ ค่าเฉลี่ยของสัญญาณ มีหน่วยเป็น (dBm)

$T$  คือ ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้ มีหน่วยเป็น mW

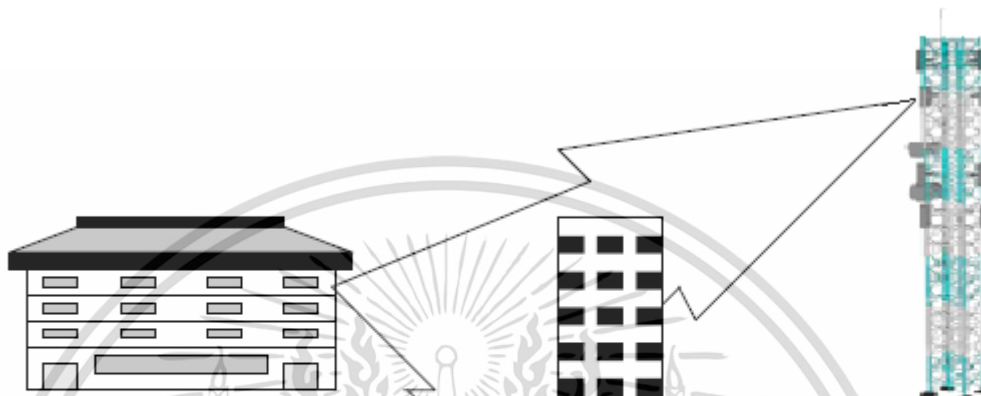
$\sigma$  คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีหน่วยเป็น dB

โดยที่ค่า  $\sigma$  ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่สัญญาณโทรศัพท์ส่งผ่าน มีค่าอยู่ระหว่าง 6-10 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 มัลติพาทเฟดดิ้ง (Multipath Fading)

เกิดจากการสะท้อนและหักเหของสัญญาณในหลายทิศทางจากภาคส่งไปหาภาครับ ซึ่งทำให้สัญญาณที่ได้รับมาเป็นผลรวมของสัญญาณเดียวกัน จึงทำให้มีขนาดและเฟสที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับ การเคลื่อนที่ของผู้ใช้โทรศัพท์และความถี่ที่ใช้ในการส่งสัญญาณดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.5 มัลติพาทเฟดดิ้ง (Multipath Fading)

### 2.4 แบบจำลองการสูญเสียกำลังตามวิถีขึ้นกับระยะทาง (Large - Distance Path Loss Model)

การใช้แบบจำลองการสูญเสียกำลังตามวิถีขึ้นกับระยะทางนิยมใช้กัน เพราะเป็นแบบจำลองอย่างง่าย ทำนายการแพร่กระจายของคลื่นได้ดี ในสภาพแวดล้อมไม่มีสิ่งกีดขวางของคลื่นมากนัก แบบจำลองนี้ใช้ได้ทั้งภายในตึกอาคารและนอกตึกอาคาร ซึ่งแบบจำลองการสูญเสียกำลังตามวิถีขึ้นกับระยะทางหาได้จากสมการที่ 2.15

$$\overline{PL}(d)[dB] = \overline{PL}(d_1) + 10n \log\left(\frac{d}{d_1}\right) \quad (2.15)$$

เมื่อ  $d_1$  คือ ระยะทางอ้างอิงที่อยู่ใกล้กับเครื่องส่ง

$d$  คือ ระยะทางระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง

$N$  คือ เลขการสูญเสียกำลังตามวิถีตามสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสูญเสียกำลังตามวิถีขึ้นกับระยะทางในสมการที่ 2.15 เป็นค่าเฉลี่ยของระยะทาง  $d$  กับ  $n$  โดยที่ค่า  $n$  จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพแวดล้อมที่คลื่นสัญญาณผ่าน ดังตารางที่ 1 จากสมที่ 2.15 หากต้องการหาสมการการสูญเสียกำลังตามวิถีขึ้นกับระยะทางใด ๆ หาได้จากสมการที่ 2.16

$$\begin{aligned} PL(d)[dB] &= \overline{PL}(d) + X_{\sigma} \\ &= \overline{PL}(d_1) + 10n \log\left(\frac{d}{d_1}\right) + X_{\sigma} \quad (2.16) \end{aligned}$$

เมื่อ  $X_{\sigma}$  คือ ตัวแปรสุ่มกระจายเกาส์เซียนเฉลี่ยศูนย์ มีหน่วยเป็น dB

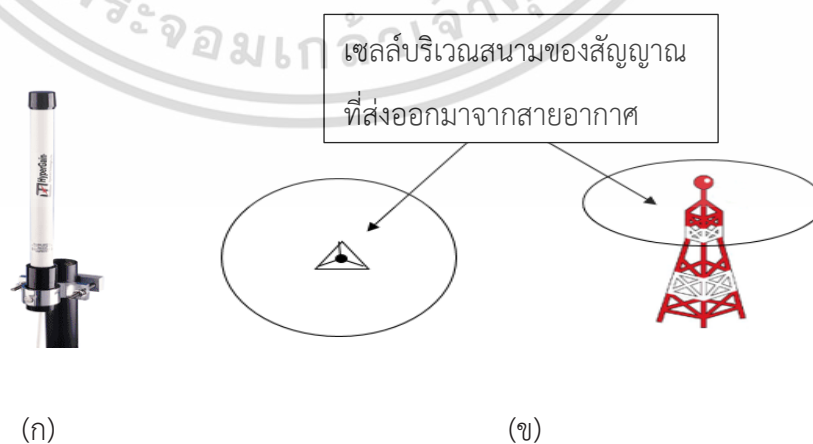
$\sigma$  คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีหน่วยเป็น dB

## 2.5 สายอากาศ(Antennas)

สายอากาศเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก ใช้ในการแพร่กระจายคลื่นออกไปในอากาศแบบรอบทิศทาง และแพร่กระจายออกไปแบบทิศทางเดียวขึ้นอยู่กับการเลือกใช้งานซึ่งเราจะพบเห็นสายอากาศได้บนเสาสัญญาณโทรศัพท์ตามสถานี่ฐานในสถานที่ต่าง ๆ ทั่วประเทศโดยสายอากาศจะทำหน้าที่รับและส่งสัญญาณให้กับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ สามารถแบ่งออกตามการแพร่กระจายของคลื่นได้ 2 แบบดังนี้

### 2.5.1 สถานีฐานแบบรอบตัว (Omni Directional Antenna)

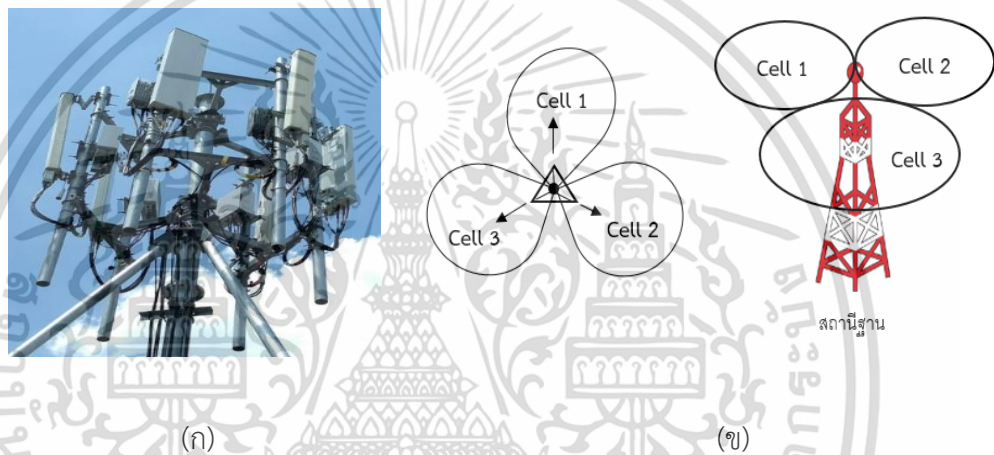
สายอากาศประเภทนี้ที่มีลักษณะการแพร่กระจายคลื่นออกไปรอบทิศทาง 360 องศา ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ก) เหมาะสำหรับใช้งานกับภาครับที่มีการเคลื่อนไหวในตำแหน่งและมีทิศทางที่ไม่แน่นอน ซึ่งนิยมใช้ในงานนอกอาคาร (Outdoor) หรือใช้เชื่อมโยงจุดไปหาหลายจุดดังรูปที่ 2.6 (ข)



รูปที่ 2.6 (ก) Omni Directional Antenna, (ข) Omni Directional  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 สถานีฐานแบบทิศทาง (Sector Antenna)

เป็นสายอากาศที่มีการกระจายคลื่นในทิศทางเดียว เหมาะสำหรับใช้เชื่อมต่อระหว่างจุดสองจุด มีระยะทางการใช้งานได้ไกลกว่าสถานีฐานแบบรอบตัว สามารถปรับมุมก้มและมุมเงยของสายอากาศได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งการติดตั้งสายอากาศยิ่งสูงเท่าใดขนาดของสัญญาณที่ส่งออกไปก็จะกว้างขึ้นเท่านั้นแต่มีข้อเสียคือถ้าภาครับไม่ได้อยู่ในทิศทางของการแพร่กระจายของสัญญาณก็จะไม่สามารถรับสัญญาณได้เลย เสาอากาศประเภทนี้ที่นิยมใช้กันได้แก่ เสาอากาศแบบเซ็กเตอร์ (Sector Antenna) เสาอากาศแบบกริด (Grid Antenna) เสาอากาศแบบยาจิกิ (Yagi Antenna) และเสาอากาศแบบจาน (Solid Dish Antenna)



รูปที่ 2.7 (ก) Sector Antenna, (ข) Sector Directional

## 2.6 เสาส่งสัญญาณโทรคมนาคมมีอยู่ 5 แบบหลัก ๆ ได้แก่

### 2.6.1 เสาโทรคมนาคมแบบ Self Support

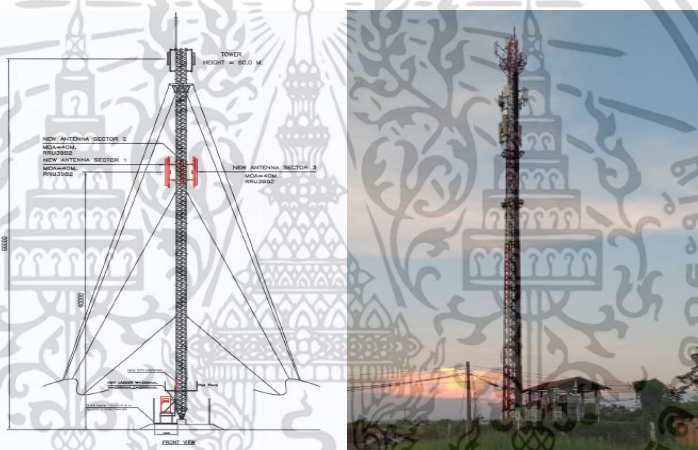


รูปที่ 2.8 เสา Self Support

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.8 แสดงแบบของเสาโทรคมนาคมประเภทนี้เป็นเสาสูง มีฐานที่กว้างใหญ่รองรับอุปกรณ์ทุกขนาดได้ดี นิยมใช้ในไทยมีความสูง 30 -120 เมตรมีหลายแบบตามการใช้งานมีทั้ง 3 ขา 4 ขา มีบันไดให้ปีนด้านในเสามีแพตฟอร์มหักเป็นระยะ มีความแข็งแรงมั่นคงมาก โดยถูกออกแบบให้ตั้งย่นได้ด้วยตนเองไม่ต้องมีสายยึดโยงกับโครงสร้างกับพื้นที่ติดตั้งจึงมีความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งเสาโทรคมนาคมบนบริเวณที่มีพื้นที่จำกัดตั้งอยู่บนพื้นดินแนวราบ เสาโทรคมนาคมแบบนี้ต้องสามารถยืนได้อย่างนิ่งและมั่นคง เพื่อรองรับแรงลมพายุและสามารถรับน้ำหนักอุปกรณ์ส่งสัญญาณได้มากกว่าเสาโทรคมนาคมแบบอื่นๆ ซึ่งจะทำให้การรับและส่งสัญญาณโทรคมนาคมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### 2.6.2 เสาโทรคมนาคมแบบ Guyed Tower



รูปที่ 2.9 เสา Guyed Tower

จากรูปที่ 2.9 แสดงเสาโทรคมนาคมประเภทที่เป็นโครงเหล็กที่เชื่อมชิ้นส่วนเหล็กให้เป็นโครงเสา ถูกออกแบบมาให้เป็นงานเสาที่ต้องมีสลิงยึดโยงไว้ 3 ด้านยึดโยงโครงเหล็กกับฐานรากอีกทอดหนึ่งเพื่อทำหน้าที่ช่วยรับแรงลม ดังนั้น เสาโทรคมนาคมแบบ Guyed Tower จึงจำเป็นต้องใช้พื้นที่บริเวณกว้างสำหรับการติดตั้ง ซึ่ง Guyed Tower เป็นเสาสูง ซึ่งอาจจะมีความสูงตั้งแต่ 30 เมตร ถึง 60 เมตรที่ตั้งบนพื้นดินแนวราบ

### 2.6.3 เสาโทรคมนาคมแบบ Guyed Mast



รูปที่ 2.10 เสา Guyed Mast

จากรูปที่ 2.10 แสดงเสาโทรคมนาคมประเภทที่เป็นโครงเหล็กที่เชื่อมชิ้นส่วนเหล็กให้เป็นโครงเสาถักออกแบบมาให้เป็นงานเสาที่ต้องมีสลิงยึดโยงไว้ 3 ด้านยึดโยงโครงเหล็กกับฐานรากอีกทอดหนึ่ง เหมือนกับ Guyed Tower เสาโทรคมนาคมแบบ Guyed Tower จึงจำเป็นต้องใช้พื้นที่บริเวณกว้าง สำหรับการติดตั้งเช่นกันแต่ Guyed Mast จะติดตั้งบนชั้นดาดฟ้าของอาคารแทนมีความสูงตั้งแต่ 30 เมตร ถึง 60 เมตร

### 2.6.4 เสาโทรคมนาคมแบบ Pole



รูปที่ 2.11 เสา Pole

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.11 แบบของเสาโทรคมนาคมประเภทนี้ได้ถูกออกแบบมาให้มีเสาหลักที่มีแกนเดียวมีขนาดเล็กมีลักษณะเสาเป็นแบบ 3 ขากางออกติดกับพื้น ซึ่งสามารถติดตั้งในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งนิยมใช้บนชั้นดาดฟ้าของอาคารในชุมชนเมือง เนื่องจากสามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็วกว่าเสาโทรคมนาคมประเภทอื่น ๆ ทั้งนี้การเลือกใช้รูปแบบของเสาประเภทนี้ต้องคำนึงถึงความสูงของอาคารที่ติดตั้งและทิศทางการติดตั้งของเสาอากาศเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณซึ่งโดยปกติเสาอากาศสามารถรับส่งสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ในระดับความสูงประมาณ 20 เมตรจากระดับพื้นดินโดยไม่มีสิ่งกีดขวางทิศทางของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยมีความสูงตั้งแต่ 3 เมตร ถึง 15 เมตร

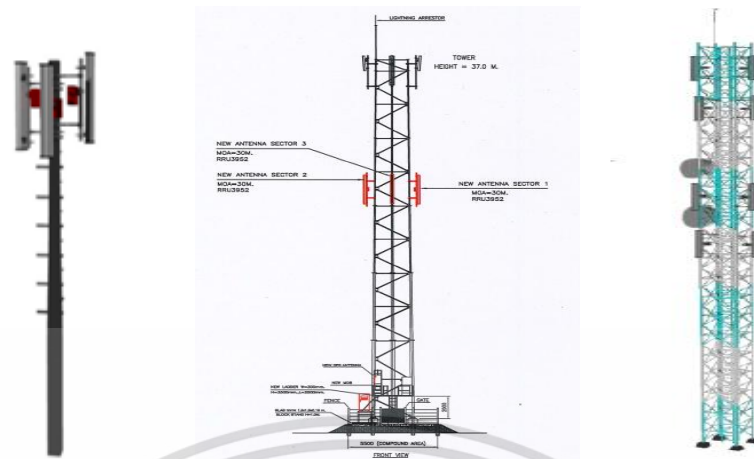
### 2.6.5 เสาโทรศัพท์ในยุคปัจจุบัน

จากความต้องการใช้งานการสื่อสารข้อมูลหรือดาต้าและการโทรเข้า-ออกด้วยเสียงให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการใช้งานโทรศัพท์มือถือและแท็บเล็ตมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันทั้งในที่ชุมชนเมืองและชนบทจึงทำให้ความหนาแน่นในการใช้เครือข่ายของระบบโทรศัพท์มือถือก็ต้องเพิ่มมากขึ้นตามจึงทำให้มีการติดตั้งสถานีฐานในหลาย ๆ รูปแบบเพิ่มขึ้นและด้วยพื้นที่ที่มีจำกัดในการก่อสร้างจึงได้มีการปรับเปลี่ยนรูปแบบเสาโทรศัพท์อีกหลาย ๆ รูปแบบเพื่อความสะดวกในการติดตั้งและลดงบประมาณในการสร้างเสาโทรศัพท์ให้ต่ำลง ซึ่งมีรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้



Wall Mount

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เสาไฟฟ้าเสา True GIF เสากล่อง

### รูปที่ 2.12 เสาโทรศัพท์ในรูปแบบต่าง ๆ ในยุคปัจจุบันที่พัฒนาขึ้น

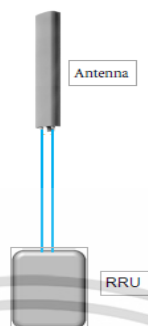
การดำเนินการติดตั้งเสาโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ย่านความถี่ 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz และ 2300 MHz ให้ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการให้ได้มากที่สุดเพื่อให้ประชาชนในเขตพื้นที่นั้น ๆ ใช้ในการติดต่อสื่อสารกันได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพียงพอต่อการใช้งาน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการติดตั้งสถานีฐานรับส่งสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ในรูปแบบต่าง ๆ เพิ่มขึ้นและการเลือกรูปแบบเสาโทรศัพท์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งสถานีฐานด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.12

## 2.7 การออกแบบติดตั้งระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

โทรศัพท์มือถือที่เราใช้งานกันในปัจจุบันทั้ง 2G (GSM), 3G (WCDMA, UMTS, HSPA), และ 4G (LTE) มีพื้นฐานการใช้งานแบบเซลล์ลูลาร์ (Cellular) หรือแบ่งพื้นที่ให้บริการออกเป็นพื้นที่เล็ก ๆ (cell) มีสถานีฐาน (Base Station) ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลด้วยสัญญาณวิทยุ (Radio Frequency) ที่แบ่งความถี่ออกเป็นช่อง ๆ หรือช่วงคลื่น และมีการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (Reuse) ในเซลล์อื่น ๆ เพื่อให้การใช้งานความถี่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพในส่วนของกรออกแบบและให้บริการในระบบ ๆ หนึ่งจะประกอบไปด้วยสถานีฐานมากมาย และมีหลายขนาดตั้งแต่มีพื้นที่ครอบคลุมมาก ๆ ในย่านชานเมืองหรือแค่มักร้อยเมตรในย่านเขตเมืองที่มีผู้ใช้บริการกันอย่างหนาแน่น

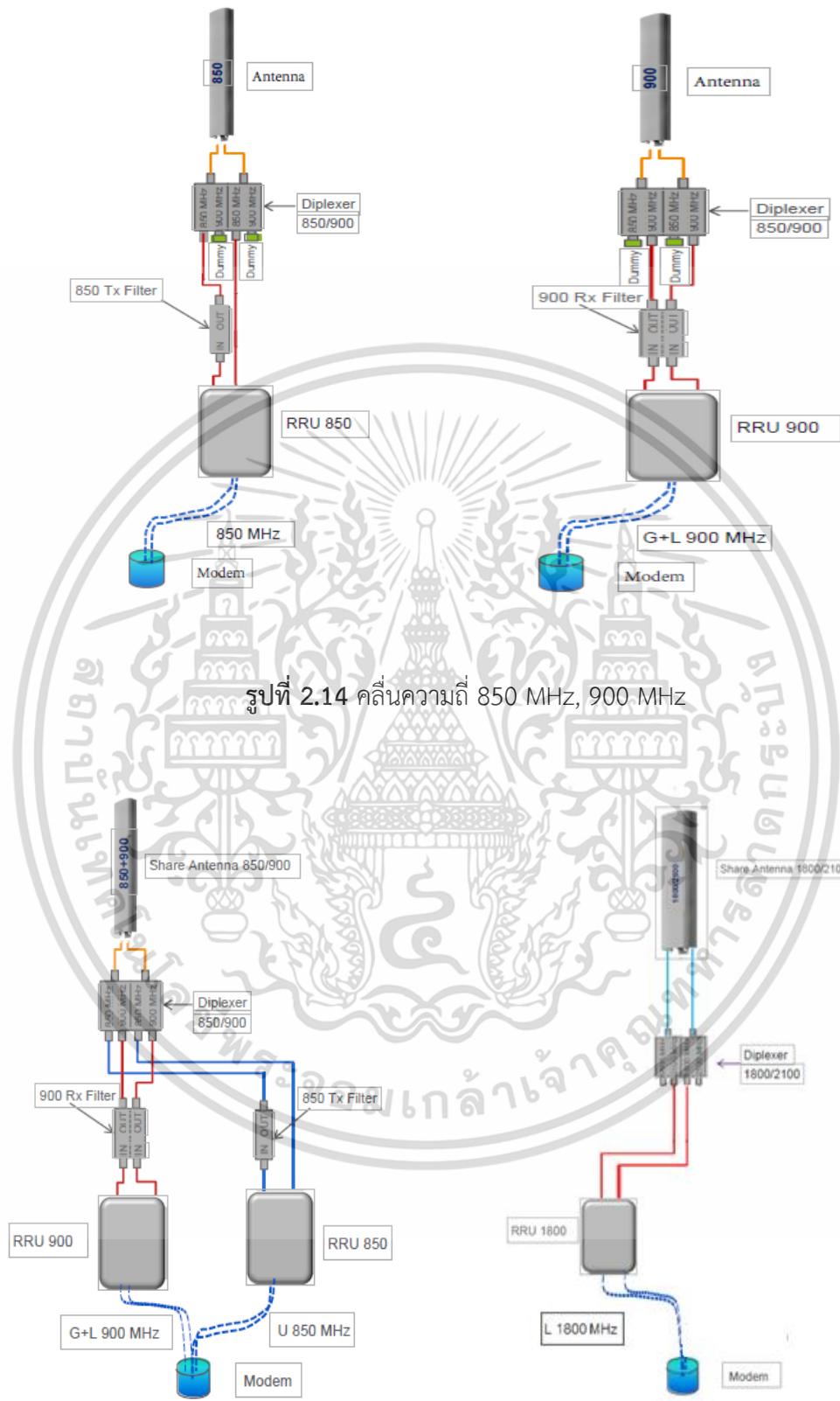
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์คลื่นความถี่ต่าง ๆ ในสถานีสฐาน



รูปที่ 2.13 องค์ประกอบพื้นฐานในการติดตั้งอุปกรณ์

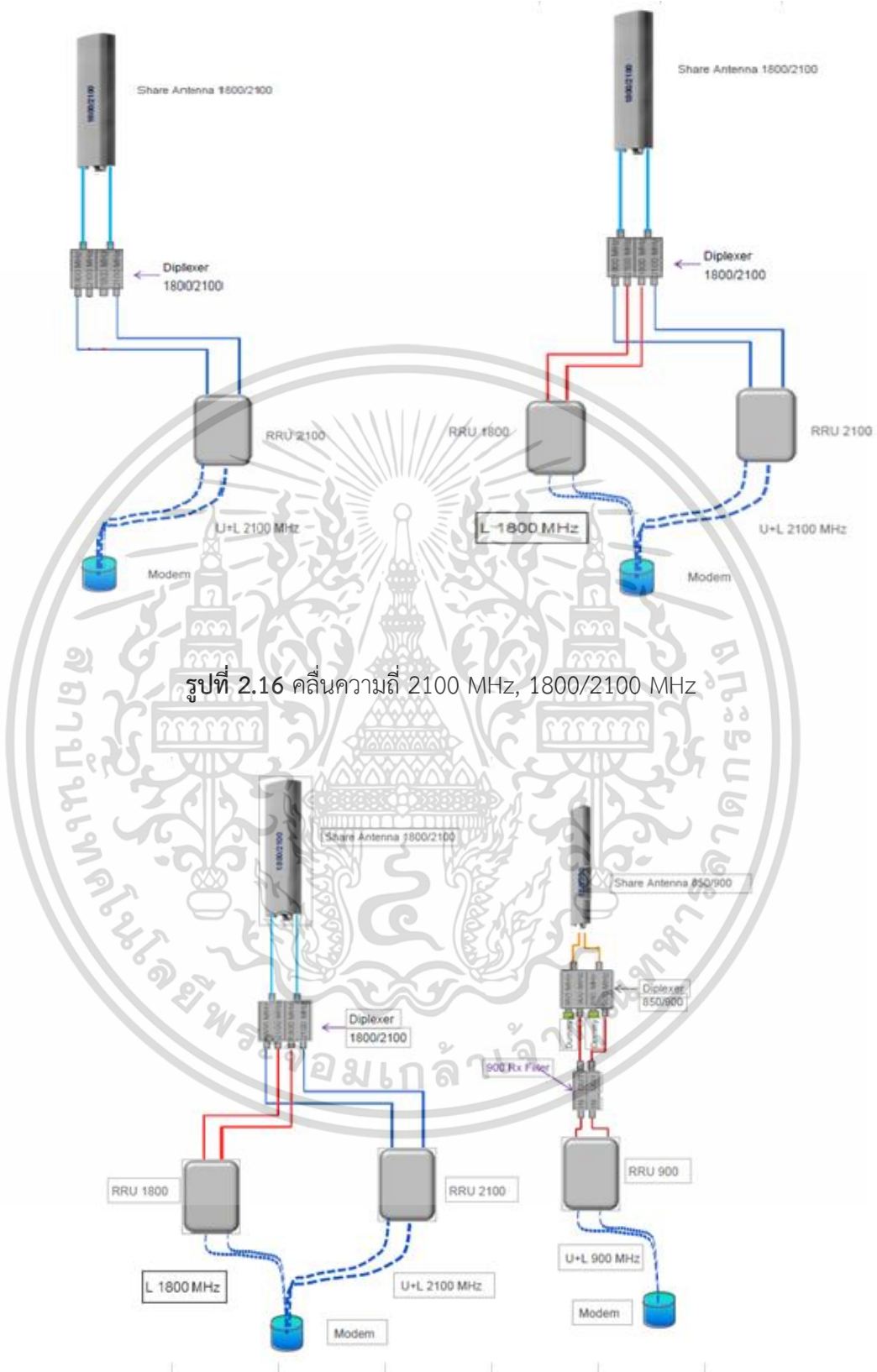
จากรูปที่ 2.13 แสดงถึงองค์ประกอบพื้นฐานของระบบจะประกอบด้วย Modem, RRU คือ Remote Radio Unit ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจาก modem และ Antenna โดยที่ตัวโมเด็มจะเป็นตัวคอนโทรลให้อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องสื่อสารเชื่อมต่อกันได้ ซึ่งการต่ออุปกรณ์แต่ละระบบคลื่นความถี่ก็จะมี การออกแบบที่หลากหลายแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับกลุ่มผู้ใช้งานในแต่ละพื้นที่ว่ามี การใช้งานมากน้อยเพียงใดแต่ในที่นี่จะยกตัวอย่างมาให้ดูเพียงคร่าว ๆ พอเป็นสังเขป



รูปที่ 2.14 คลื่นความถี่ 850 MHz, 900 MHz

รูปที่ 2.15 คลื่นความถี่ 850/900 MHz, 1800 MHz

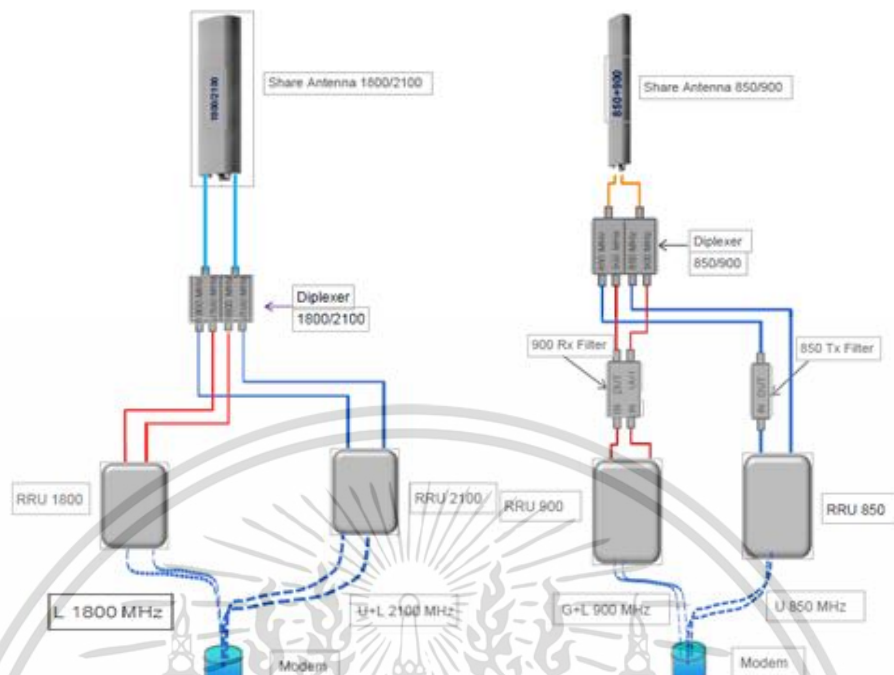
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 คลื่นความถี่ 2100 MHz, 1800/2100 MHz

รูปที่ 2.17 คลื่นความถี่ 900/1800/2100 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 คลื่นความถี่ 850/900/1800/2100 MHz

จากรูปที่ 2.13 – 2.18 แสดงให้เห็นถึงองค์ประกอบพื้นฐานและรูปแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในย่านความถี่ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการติดตั้งโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ย่านความถี่ 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz และ 2300 MHz

## 2.9 การคำนวณหาปริมาณความต้องการใช้งานหรือการจราจร (Traffic)

ความหนาแน่นของการจราจรใช้ค่า 2 เเปอร์เซ็นต์ จากตาราง เอแอลจีบี การคำนวณหาค่าความหนาแน่นการใช้งานของโทรศัพท์หนึ่งเครื่อง หาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$P = \frac{TN}{3600} \quad \text{หน่วยเป็น เอแอลก์} \quad (2.17)$$

โดยที่ N คือ จำนวนครั้งในการโทรต่อชั่วโมง

T คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาการสนทนา เป็นวินาที

P คือ ปริมาณความหนาแน่นการใช้งานจำนวนหนึ่งคนหรือหลายคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 เงื่อนไขการออกแบบการติดตั้งไซร์รีโมท (Site Remote)

ในการติดตั้งไซร์รีโมทจะต้องคำนึงถึงผลกระทบของสัญญาณจากสถานีฐานรอบข้าง มีการวางแผนที่ดี และหาตำแหน่งพื้นที่ให้บริการที่เหมาะสมกับปริมาณความต้องการของผู้ใช้งาน มีขั้นตอนการพิจารณา ดังนี้

1. วิเคราะห์ถึงความต้องการของผู้ใช้งาน
2. หาตำแหน่งพื้นที่ให้บริการที่เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งาน
3. คำนวณหาปริมาณความต้องการใช้งานหรือการจราจร (Traffic)
4. วางแผนการติดตั้งเซลล์ตามตำแหน่งของพื้นที่ต่าง ๆ
5. ประเมินผลของสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้นและรัศมีของเซลล์ที่จะใช้งาน
6. ส่งทีมออกสำรวจและจัดหาสถานที่ใกล้กับตำแหน่งที่วางแผนไว้
7. ทำการวัดสัญญาณรอบบริเวณที่จัดหาไว้ เพื่อวัดหาค่าความถี่ที่เหมาะสมในการติดตั้ง
8. รวบรวมข้อมูลทั้งหมดและมาสรุปเป็นแผนงาน
9. ติดตั้งไซร์รีโมท
10. ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ภายในระบบที่เปิดใช้งานในคลื่นความถี่ใหม่

## 2.11 การวัดความแรงหรือความเข้มของสัญญาณ (RSSI)

RSSI เป็นคำย่อของคำว่า Received Signal Strength Indication ซึ่งคือระดับบงชี้ของความแรงของคลื่นความถี่วิทยุที่วัดที่ตัวรับ โดยที่ระดับความแรงของสัญญาณวิทยุจะมีหน่วยที่ใช้กันอยู่คือ dBm หรือ decibel-milliwatts ที่อ้างอิงกับที่ระดับ milliwatt 0 dBm จะมีค่าเท่ากับ 1 milliwatt ซึ่งคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$X = 10 \log_{10} \frac{P}{1 \text{ mW}}$$

เมื่อ

$$P = 1 \text{ mW} (10^{\frac{X}{10}})$$

(2.18)

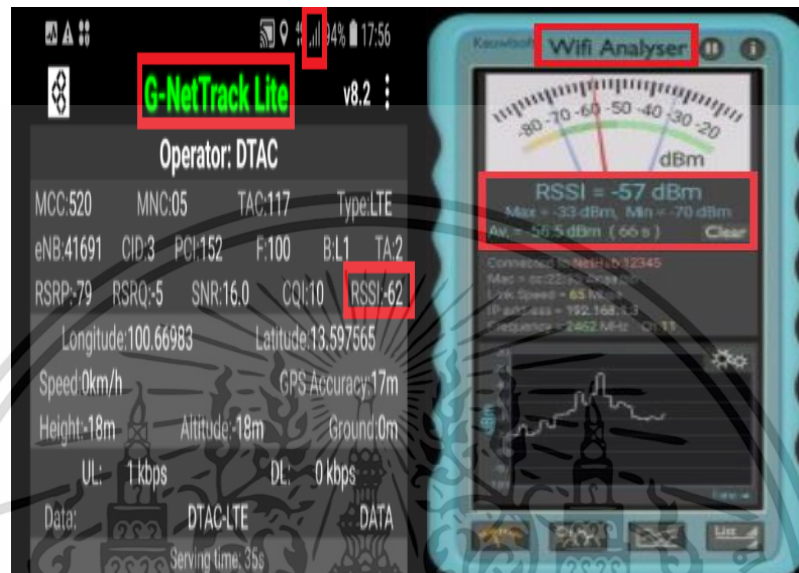
โดยที่ X คือระดับค่า RSSI มีหน่วยเป็น dB และ P คือกำลังมีหน่วยเป็น watt

จากสมการการวัดความแรงหรือความเข้มของสัญญาณ (พลังงานเป็นตัวสำคัญ) ยิ่งติดลบน้อยยิ่งดีโดยทั่วไปสัญญาณมีความแรงระดับ -50 dB ลงมาเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าเราอยู่ใกล้เสาส่งสัญญาณมาก สัญญาณแรงมากเต็มทุกขีดสัญญาณมีความแรงระดับ -60 ถึง -75 dB แสดงว่าสัญญาณแรงเต็มทุกขีด และสัญญาณมีความแรงระดับที่ตัวเลขค่าลบเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ คุณภาพความแรงของสัญญาณก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลดลงจนถึงประมาณ -110 dB เป็นต้นไปหมายความว่าคุณภาพสัญญาณต่ำมากมีขีดเดียวจนถึงกระทั่งสัญญาณหายไปเลย

หมายเหตุ: การดูค่าความเข้มของสัญญาณจากโปรแกรม G-NetTraLite, โปรแกรม Wifi Analyser



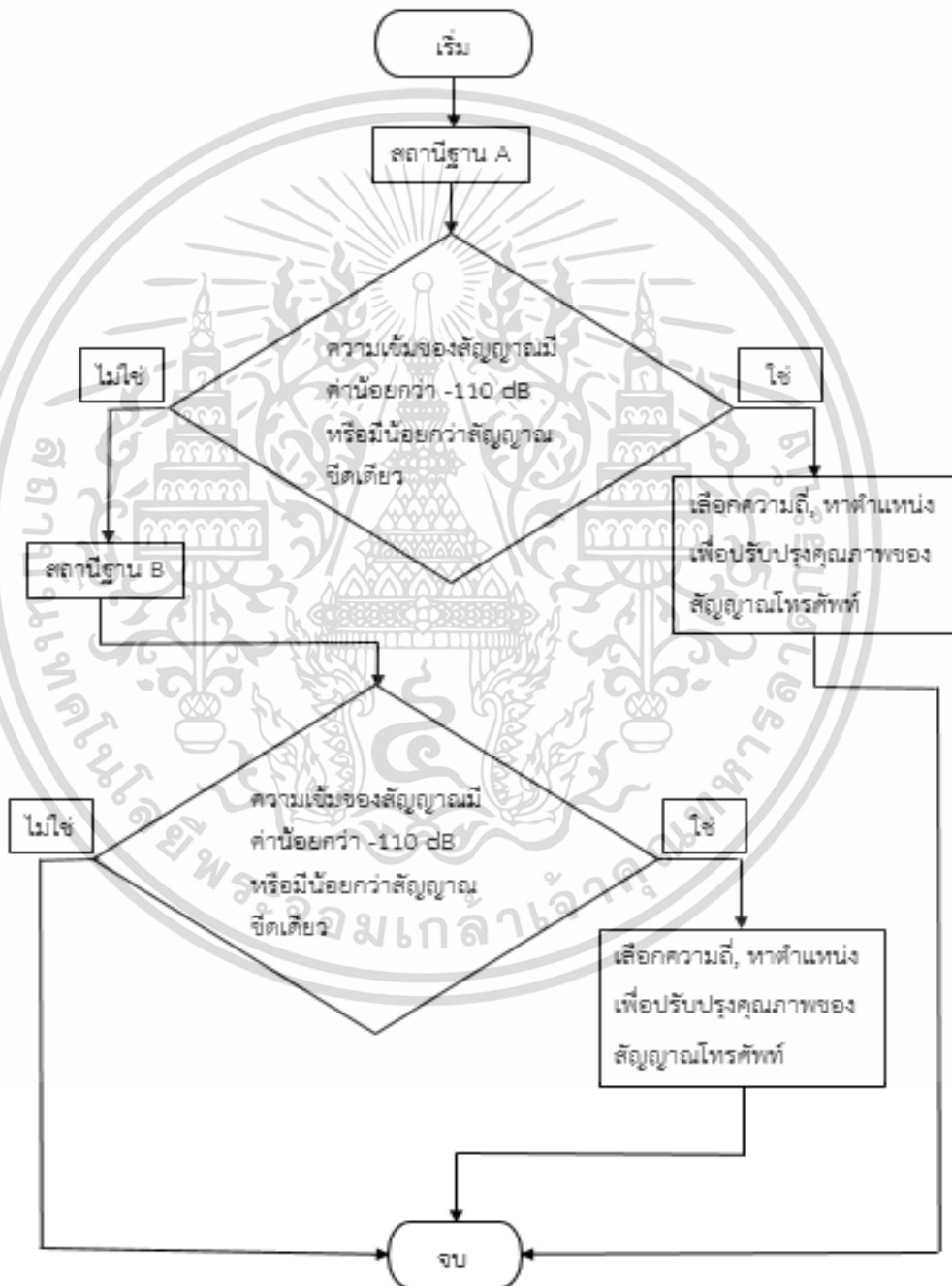
รูปที่ 2.19 การดูค่าความเข้มของสัญญาณจากโปรแกรม G-NetTraLite และ WifiAnalyser

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

## ผลจำลองการทำงานก่อนเพิ่ม Site Remote

## 3.1 FlowChart การทำงานก่อนติดตั้ง SITE REMOTE



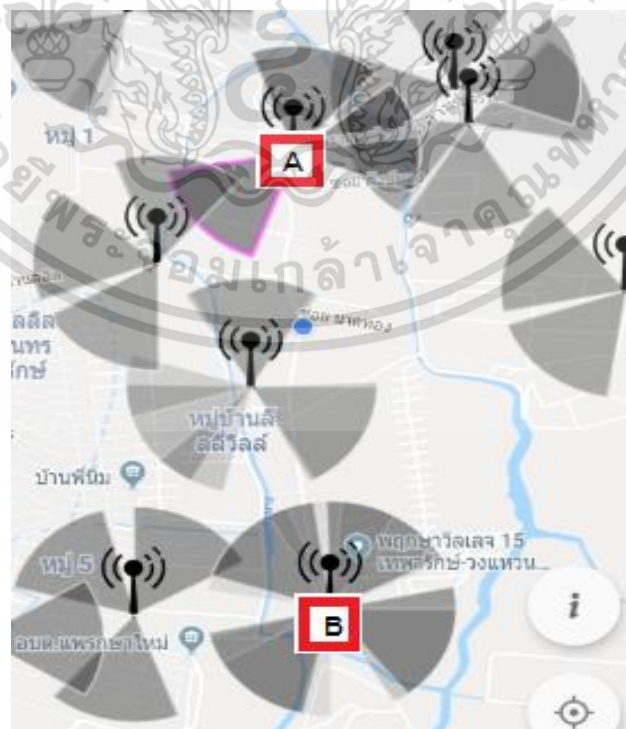
รูปที่ 3.1 การทำงานโครงข่ายของ Cellular ก่อนติดตั้ง Site Remote

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

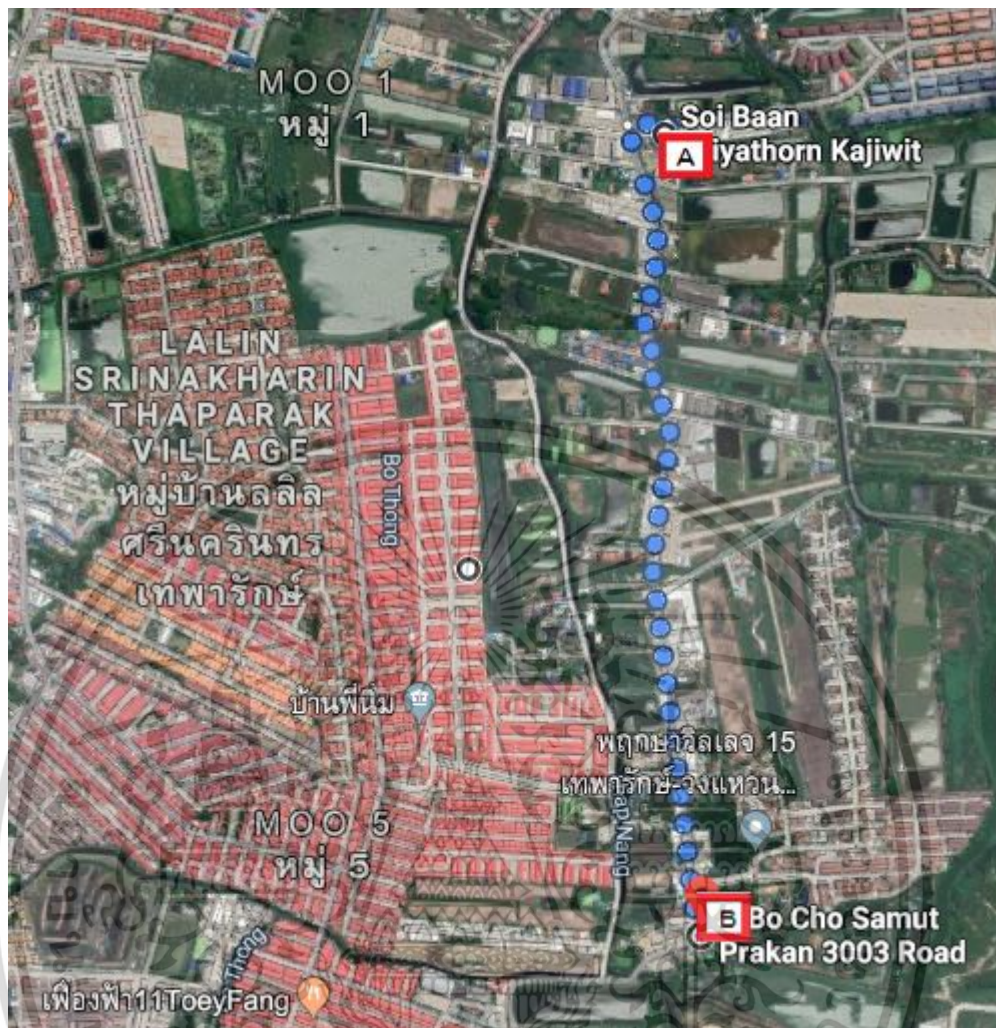
จากรูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทำงานก่อนติดตั้ง Site Remote จากสถานีฐาน A ไปหาสถานีฐาน B โดยเริ่มจากสถานีฐาน A ดังนั้นโทรศัพท์จะตรวจจับความแรงของสัญญาณสถานีฐาน A เทียบกับสถานีฐาน B จากการตรวจจับความแรงของสัญญาณจะพบว่าสถานีฐาน A มีความแรงของสัญญาณมากกว่าสถานีฐาน B ทำให้โทรศัพท์จับใช้งานสถานีฐาน A และโทรศัพท์จะจับใช้งานสถานีฐาน A ไปเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่สถานีฐาน A มีความแรงของสัญญาณมากกว่าสถานีฐาน B เมื่อระยะทางห่างออกไปไกลจากสถานีฐาน A มากเท่าไรสัญญาณความแรงก็จะยิ่งลดลง จนกระทั่งถึงสัญญาณมีน้อยกว่าสัญญาณขีดเดียวหรือสัญญาณหายไปเลย หรือมีค่าความเข้มของสัญญาณติดลบเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เริ่มตั้งแต่  $-110$  dB ซึ่งเป็นจุดที่เราจะนำมาใช้ในการหาตำแหน่งในการปรับปรุงคุณภาพของสัญญาณโทรศัพท์และเลือกย่านความถี่ให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งาน จากนั้นเมื่อเข้าใกล้เขตที่สถานีฐาน B เริ่มมีความแรงของสัญญาณเทียบกับสถานีฐาน A ที่มากกว่าโทรศัพท์จะจับใช้งานสถานีฐาน B จะพบว่าความแรงของสัญญาณจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่เราเข้าไปใกล้สถานีฐาน B

### 3.2 แผนที่แสดงตำแหน่งเก็บผลการจำลอง (Drive Test)

จากรูปที่ 3.2 เป็น MAP แสดงตำแหน่งและที่ตั้งของ site A (13.599004,100.66994) และ site B (13.585521,100.67056) ซึ่งตั้งอยู่ที่ตำบลแพรกษาใหม่ อำเภอเมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ 10280



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงตำแหน่งโครงข่ายของ Cellular จากสถานีฐาน A ไปหาสถานีฐาน B ก่อนเพิ่ม site remote

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลการติดตั้งอุปกรณ์ของสถานีฐาน A และสถานีฐาน B และรูปแบบที่ใช้ในการติดตั้งดังรูปที่ 2.16 ซึ่งก่อนติดตั้งเราจะได้ข้อมูลตามตารางที่ 3.1 ก่อน

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการติดตั้งในสถานีฐานที่ย่านความถี่ 2100 MHz

Site	Cell	Dir	Height (sol)	M-Tilt	E-Tilt	Antenna type	Horiz beam width	Vert beam width	DU type	Tower Type	RRU Type
A	A_1A	10	34	4	5	HW_A19451811	61	6.7	RBS6601	Self Support - 35 m	RRUS 12 B1
A	A_1B	80	34	4	5	HW_A19451811	61	6.7	RBS6601	Self Support - 35 m	RRUS 12 B1
A	A_1C	230	34	4	4	HW_A19451811	61	6.7	RBS6601	Self Support - 35 m	RRUS 12 B1
B	B_1A	30	34	3	7	HW_ATR4518R14v06	65	6.1	BB5216	Self Support - 35 m	RRUS 12 B1
B	B_1B	110	34	2	5	HW_ATR4518R14v06	65	6.1	BB5216	Self Support - 35 m	RRUS 12 B1
B	B_1C	225	34	3	4	HW_ATR4518R14v06	65	6.1	BB5216	Self Support - 35 m	RRUS 12 B1
B	B_1D	320	34	2	9	HW_ATR4518R14v06	65	6.1	BB5216	Self Support - 35 m	RRUS 12 B1

จากตารางที่ 3.1 เราจะทราบข้อมูลดังต่อไปนี้

- ชื่อ site ที่จะติดตั้ง คือ site A และ site B
- ทราบว่า site A ติดตั้ง 3 sector, site B ติดตั้ง 4 sector
- ทราบมุม หรือทิศทาง (direction) ที่ใช้ในการติดตั้ง มีหน่วยเป็นองศา
- ความสูงที่ใช้ในการติดตั้งเสาอากาศ คือ 34 เมตร
- M-Tilt เป็นค่าปรับมุมก้มเงยของตัวเสาอากาศ (Antenna) ที่ยึดกับตัวโครงสร้างเสา
- E-Tilt เป็นค่าปรับมุมก้มเงยภายในตัวเสาอากาศ (Antenna)
- ใช้เสาอากาศรุ่น HW\_A19451811 ติดตั้ง site A และรุ่น HW\_ATR4518R14v06 ติดตั้ง site B
- Beam ที่ยิงออกมาจาก Antenna ในแนวขวาง คือ 61 องศา สำหรับ site A และ 65 องศา สำหรับ site B
- Beam ที่ยิงออกมาจาก Antenna ในแนวตั้ง คือ 6.7 องศา สำหรับ site A และ 6.1 องศา สำหรับ site B
- ใช้ตัว MU หรือ BBU ซึ่งทำหน้าที่เป็น modem เป็นตัวควบคุมอุปกรณ์ มีชื่อเรียกว่า RBS6601 ติดตั้ง site A และ BB5216 ติดตั้ง site B
- เสาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์เป็นเสาแบบ Self Support สูง 35 เมตร ทั้ง site A และ site B
- ตัว Remote Radio Unit (RRU) ที่ใช้ในการติดตั้งคือรุ่น RRUS 12 B1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

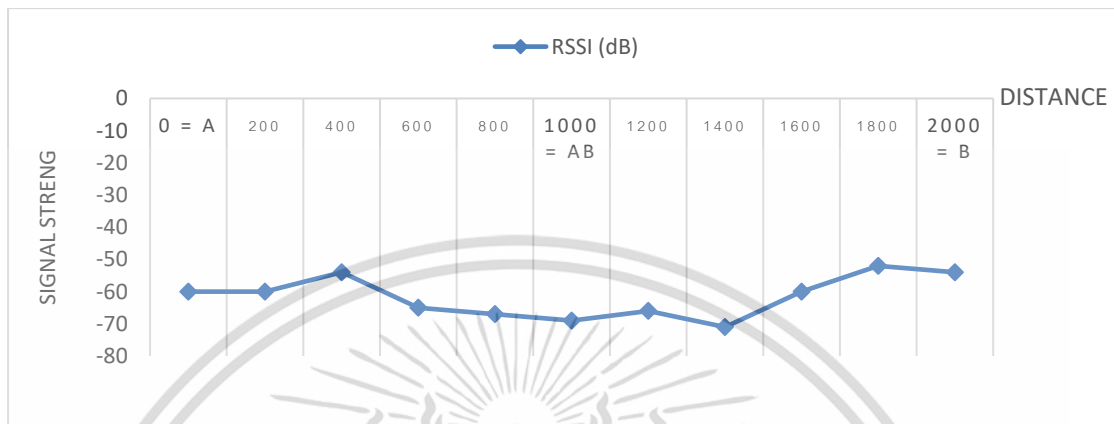
ในการเก็บผลการจำลองก่อนติดตั้งจากสถานีฐาน A ไปหาสถานีฐาน B โดยใช้โทรศัพท์มือถือยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น J7 และใช้โปรแกรมในการ Test การทำงานประกอบด้วย G-NettraLite และ Speed test เก็บผลจำลองการทำงานที่ระยะทางห่างกันทุกจุด ๆ ละ 200 เมตร จะได้ค่าตาราง ดังนี้

**ตารางที่ 3.2** ค่าความแรงของสัญญาณ ค่าความไวโหลดและค่าอัฟโหลดก่อนติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz

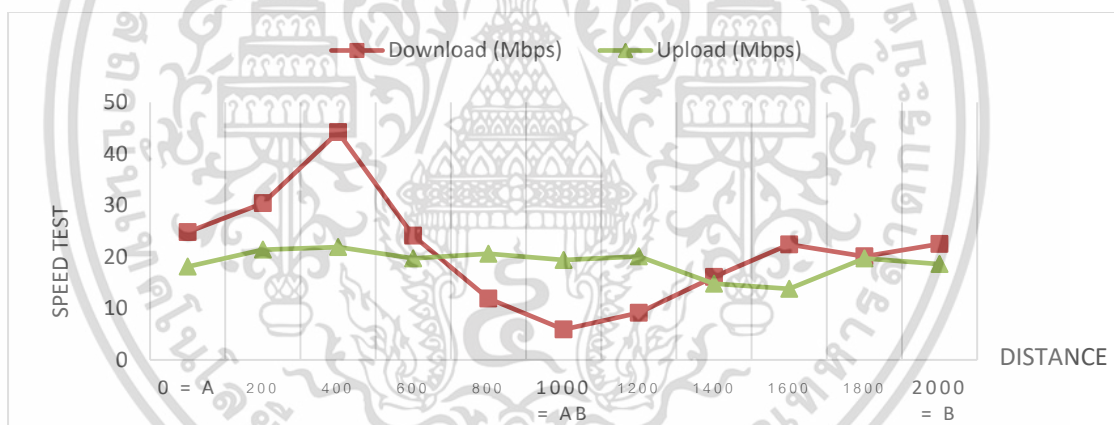
D (m)	RSSI (dB)	Download (Mbps)	Upload (Mbps)
0 = A	-60	24.8	18.1
200	-60	30.4	21.4
400	-54	44.2	21.9
600	-65	24.1	19.7
800	-67	11.9	20.6
1000 = AB	-69	5.9	19.4
1200	-66	9.14	20.1
1400	-71	16.1	14.8
1600	-60	22.4	13.8
1800	-52	20.1	19.7
2000 = B	-54	22.5	18.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 กราฟความแรงของสัญญาณ ดาวนโหลดและอัปโหลดก่อนติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz



รูปที่ 3.3 กราฟความแรงของสัญญาณก่อนติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz



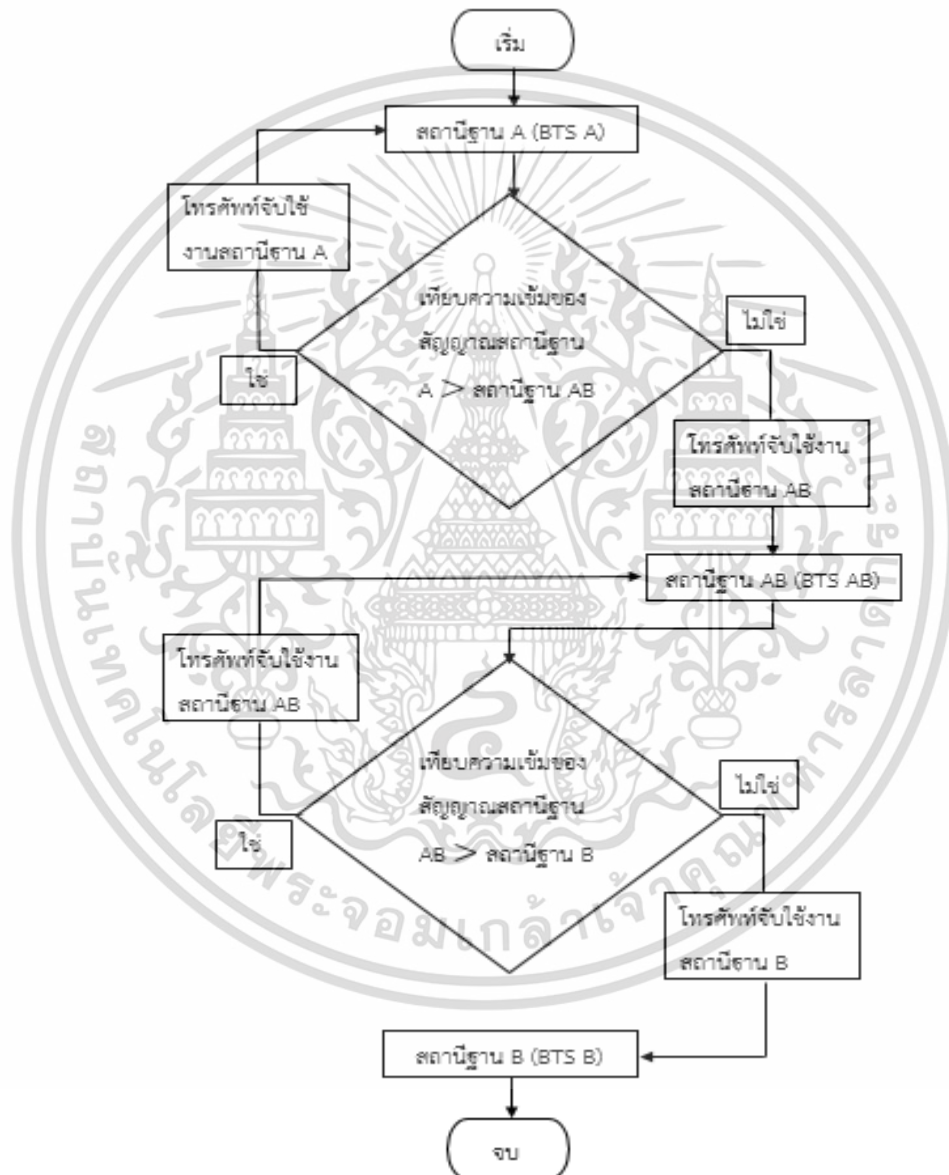
รูปที่ 3.4 กราฟดาวนโหลดและอัปโหลดก่อนติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz

จากรูปที่ 3.3 – 3.4 เป็นกราฟแสดงผลความแรงของสัญญาณ ค่าดาวนโหลดและอัปโหลดก่อนติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz ที่ได้จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูล (Drive Test) เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งที่เหมาะสมในติดตั้ง site remote เพิ่ม เพื่อปรับปรุงคุณภาพสัญญาณในเขตพื้นที่นั้นให้ดีขึ้นและรองรับการใช้งานที่จะเพิ่มขึ้นตามมาในอนาคต จากกราฟจะเห็นว่าในตำแหน่งที่ 600 เมตร ไปจนถึง 1,400 เมตร ค่าความเข้มของสัญญาณ ดาวนโหลดและอัปโหลดที่ตรวจวัดได้มีค่าไม่ค่อยดี ซึ่งบ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณไม่ดีและจะส่งผลถึงการดาวนโหลดและอัปโหลดข้อมูลก็จะช้าไปด้วย

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 FlowChart การทำงานหลังติดตั้ง SITE REMOTE



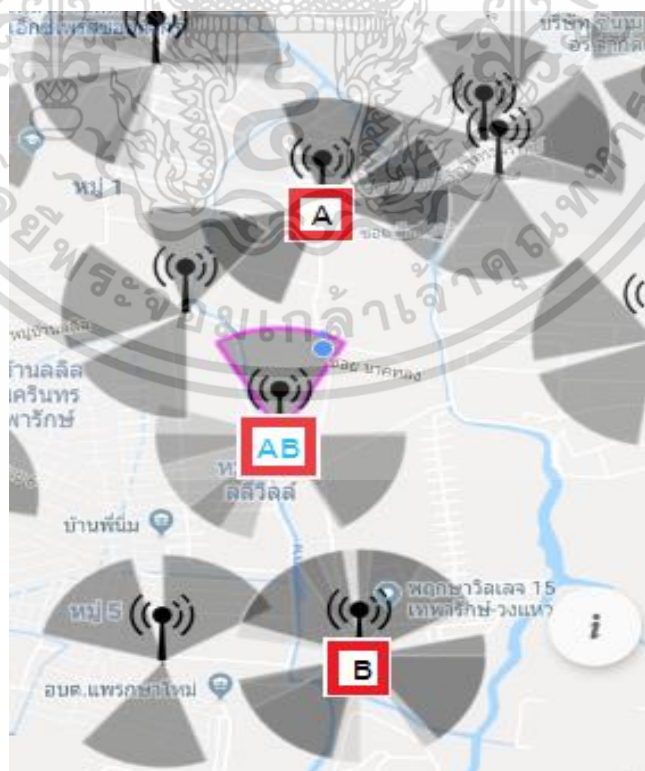
รูปที่ 4.1 การทำงานโครงข่ายของ Cellular หลังติดตั้ง Site Remote

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

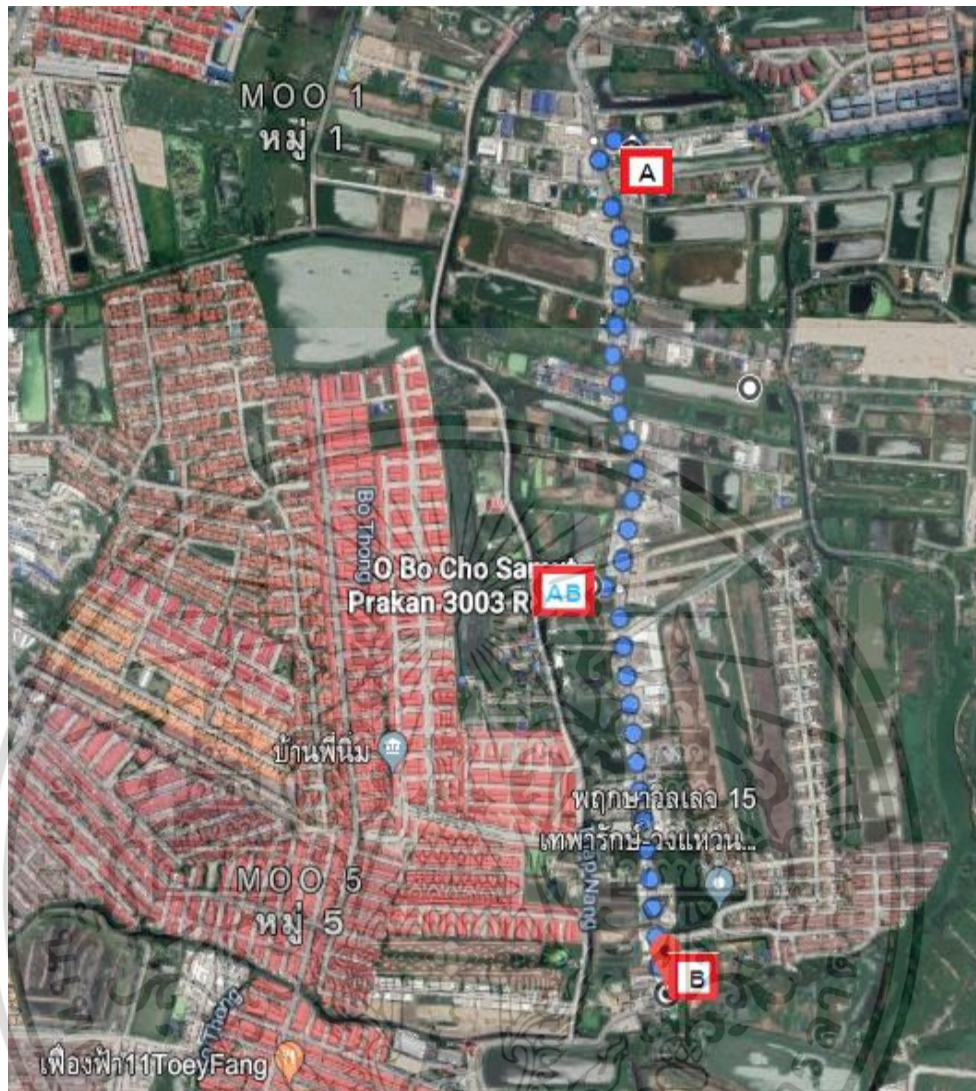
จากรูปที่ 4.1 แสดงการทำงานหลังติดตั้ง Site Remote จากสถานีฐาน A ไปหาสถานีฐาน AB และสถานีฐาน B โทรศัพท์จะทำตรวจจับความแรงของสัญญาณของสถานีฐาน A ที่ใช้งานอยู่เทียบกับ สถานีฐาน AB โดยเริ่มจากสถานีฐาน A ดังนั้นสถานีฐาน A จึงมีความแรงของสัญญาณมากกว่าสถานี ฐาน AB ทำให้โทรศัพท์จับใช้งานสถานีฐาน A ซึ่งโทรศัพท์จะจับใช้งานไปเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่ สถานีฐาน A มีความแรงของสัญญาณมากกว่าสถานีฐาน AB เมื่อระยะทางห่างออกไปไกลจากสถานี ฐาน A มากเท่าไรความแรงของสัญญาณก็จะยิ่งลดลง เมื่อสัญญาณจากสถานีฐาน A ที่ใช้งานเทียบ กันแล้วอ่อนกว่าสถานีฐาน AB จึงทำให้โทรศัพท์จับใช้งานสถานีฐาน AB แทนซึ่งมีความแรงของ สัญญาณมากกว่าสถานีฐาน A และโทรศัพท์จะจับใช้งานสถานีฐาน AB ไปเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่ สถานีฐาน AB มีสัญญาณความแรงมากกว่าสถานีฐาน A และ B เมื่อระยะทางห่างออกไปไกลจาก สถานีฐาน AB มากเท่าไรความแรงของสัญญาณก็จะยิ่งลดลง เพราะเริ่มเข้าใกล้เขตสถานีฐาน B จากนั้นสัญญาณจากสถานีฐาน AB ที่ใช้งานเทียบกันแล้วอ่อนกว่าสถานีฐาน B ก็จะทำให้โทรศัพท์จับ ใช้งานสถานีฐาน B ที่มีสัญญาณแรงมากกว่า

#### 4.2 แผนที่แสดงตำแหน่งเก็บผลการจำลอง (Drive Test)

จากรูปที่ 4.2 เป็น MAP แสดงตำแหน่งและที่ตั้งของ site A (13.599004,100.66994), site AB (13.591942,100.66975) และ site B (13.585521,100.67056) ซึ่งตั้งอยู่ที่ตำบลแพรกษาใหม่ อำเภอมืองสมุทรปราการ จังหวัดสมุทรปราการ 10280



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งการเพิ่ม site remote (AB = BASE STATION AB) เป็นสถานีฐานเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลการติดตั้งอุปกรณ์ของสถานีฐาน AB และรูปแบบที่ใช้ในการติดตั้งดังรูปที่ 2.16 ซึ่งก่อนติดตั้งเราจะได้ข้อมูลตาม ก่อน

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการติดตั้งในสถานีฐานที่ย่านความถี่ 2100 MHz

Site	Cell	Dir	Height (sol)	M-Tilt	E-Tilt	Antenna type	Horiz beam width	Vert beam width	DU type	Tower Type	RRU Type
AB	AB_1A	0	36	1	7.5	HW_A19451811	61	6.7	RBS6601	Stub Tower 37 m	RRUS 12 B1
AB	AB_1B	120	36	2	7	HW_A19451811	61	6.7	RBS6601	Stub Tower 37 m	RRUS 12 B1

จากตารางที่ 4.1 เราจะทราบข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ชื่อ site ที่จะติดตั้ง คือ site AB
2. ทราบว่า site AB ติดตั้ง 2 sector
3. ทราบมุม หรือทิศทาง (Azimuth) ที่ใช้ในการติดตั้ง คือ sector 1 ติดตั้งเสาอากาศหันหน้าไปที่ย่อม 0 องศา และ sector 2 ติดตั้งเสาอากาศหันหน้าไปที่ย่อม 120 องศา
4. ความสูงที่ใช้ในการติดตั้งเสาอากาศ คือ 36 เมตร
5. M-Tilt เป็นค่าปรับมุมก้มเงยของตัวเสาอากาศ (Antenna) ที่ยึดกับตัวโครงสร้างเสา
6. E-Tilt เป็นค่าปรับมุมก้มเงยภายในตัวเสาอากาศ (Antenna)
7. ใช้เสาอากาศรุ่น HW\_A19451811 ติดตั้ง site AB ทั้ง 2 sector
8. Beam ที่ยิงออกมาจาก Ant ในแนวขวาง คือ 61 องศา
9. Beam ที่ยิงออกมาจาก Ant ในแนวตั้ง คือ 6.7 องศา
10. ใช้ตัว MU หรือ BBU ซึ่งทำหน้าที่เป็น modem เป็นตัวควบคุมอุปกรณ์ มีชื่อเรียกว่า BB5216 ติดตั้ง site AB
11. เสาที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์เป็นเสาแบบ Stub Tower หรือเสาท่อน สูง 37 เมตร
12. ตัว Remote Radio Unit (RRU) ที่ใช้ในการติดตั้งคือรุ่น RRUS12 B1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

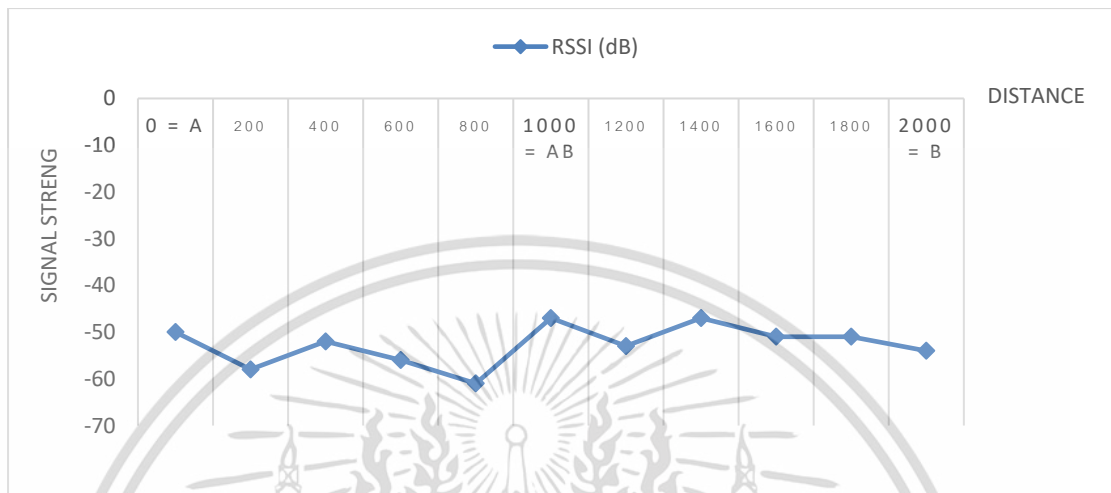
การเก็บผลการจำลองหลังติดตั้งจากสถานีฐาน A ไปหาสถานีฐาน AB และไปหาสถานีฐาน B โดยใช้โทรศัพท์มือถือยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น J7 และใช้โปรแกรมในการ Test การทำงานประกอบด้วย G-NettraLite และ Speed test เก็บผลจำลองการทำงานที่ระยะทางห่างกันทุกจุด ๆ ละ 200 เมตร จะได้ค่าตาราง ดังนี้

**ตารางที่ 4.2** ค่าความแรงของสัญญาณ ความไวโหลดและอัปโหลดหลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz

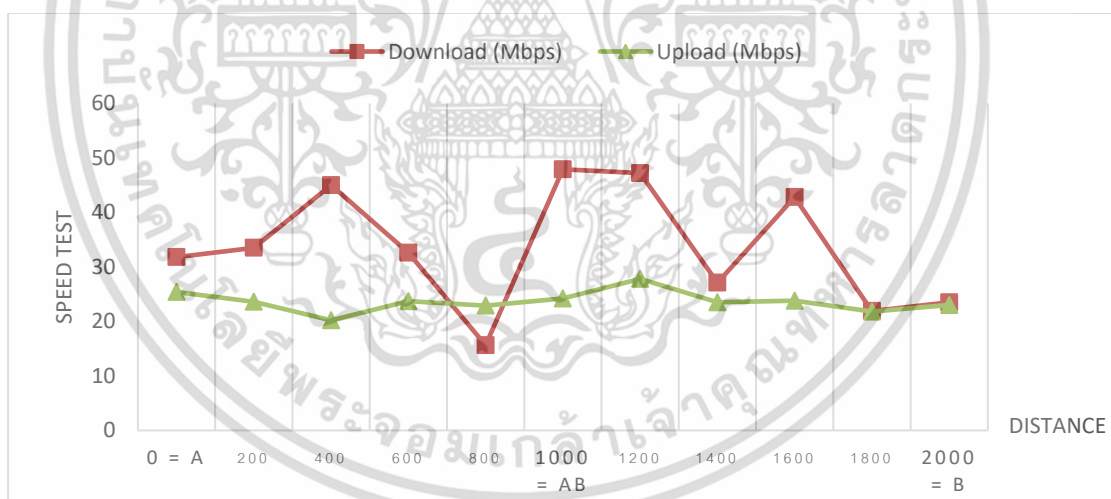
D (m)	RSSI (dB)	Download (Mbps)	Upload (Mbps)
0 = A	-50	31.8	25.4
200	-58	33.5	23.6
400	-52	45	20.2
600	-56	32.6	23.7
800	-61	15.63	22.9
1000 = AB	-47	47.9	24.2
1200	-53	47.2	27.8
1400	-47	27.1	23.5
1600	-51	42.8	23.8
1800	-51	21.9	21.8
2000 = B	-54	23.5	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 กราฟความแรงของสัญญาณ ดาว์นโหลดและอัปโหลดหลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz



รูปที่ 4.3 กราฟความแรงของสัญญาณหลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz



รูปที่ 4.4 กราฟการดาว์นโหลดและอัปโหลดหลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz

จากรูปที่ 4.3 – 4.4 เป็นกราฟแสดงผลความแรงของสัญญาณ ค่าดาว์นโหลดและอัปโหลดหลังติดตั้ง site remote เพิ่ม ที่ย่านความถี่ 2100 MHz ที่ได้จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูล (Drive Test) จากกราฟจะเห็นว่าในตำแหน่งที่ 600 เมตร ไปจนถึง 1,400 เมตร ค่าความเข้มของสัญญาณ ดาว์นโหลดและอัปโหลดที่ตรวจวัดได้มีค่าดี ซึ่งบ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณที่ดี ซึ่งจะส่งผลถึงค่าการดาว์นโหลดและอัปโหลดข้อมูลก็จะรวดเร็วขึ้นไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

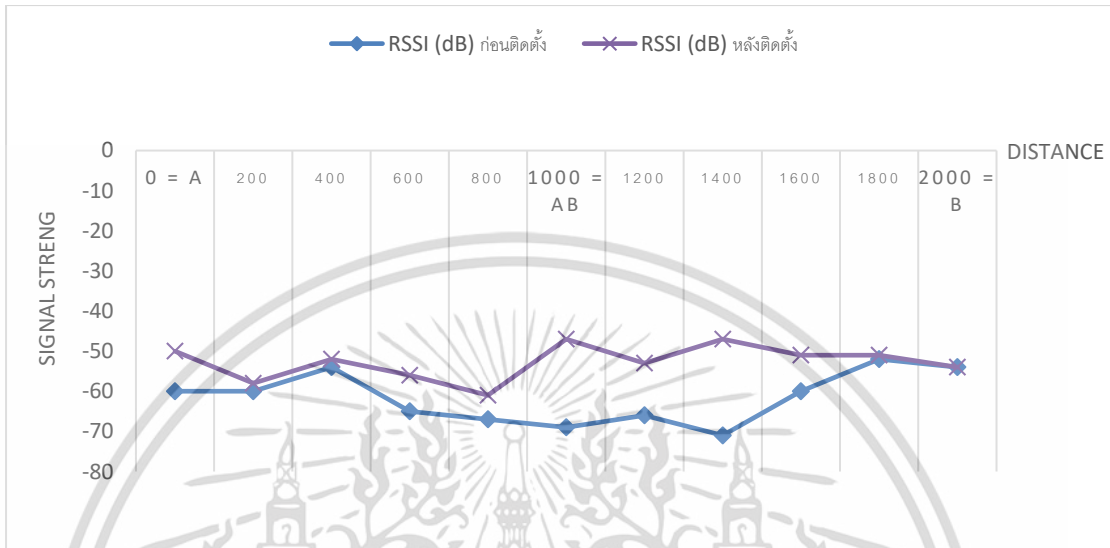
#### 4.4 ข้อมูลความแรงของสัญญาณ ดาวนโหลดและอัปโหลดก่อนติดตั้ง-หลังติดตั้งที่ย่าน ความถี่ 2100 MHz

ตารางที่ 4.3 ความแรงของสัญญาณ ดาวนโหลดและอัปโหลดก่อนติดตั้ง-หลังติดตั้งที่ย่านความถี่  
2100 MHz

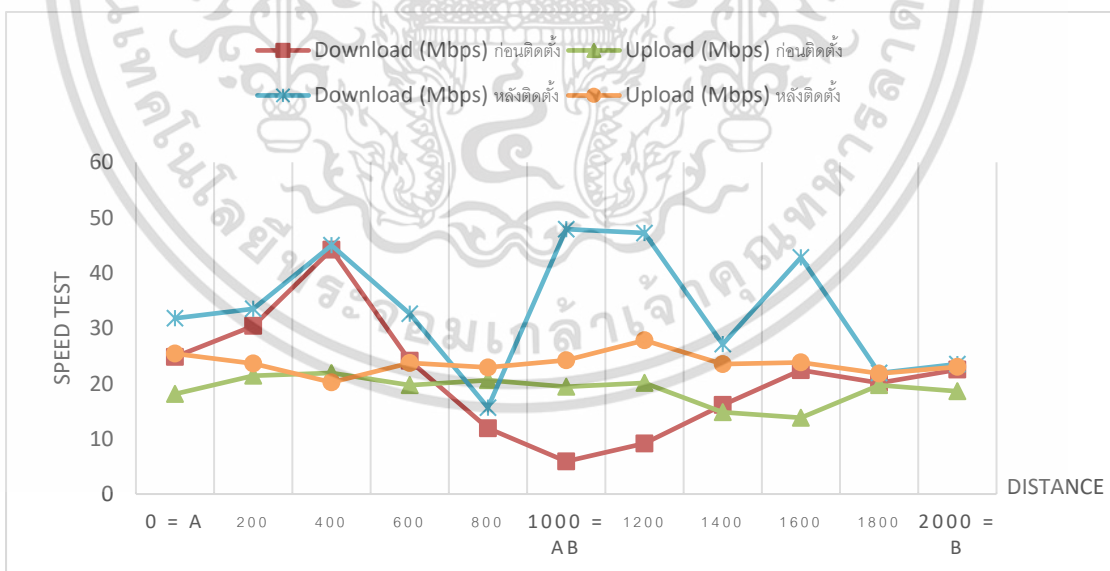
D (m)	RSSI (dB) ก่อนติดตั้ง	Download (Mbps) ก่อนติดตั้ง	Upload (Mbps) ก่อนติดตั้ง	RSSI (dB) หลังติดตั้ง	Download (Mbps) หลังติดตั้ง	Upload (Mbps) หลังติดตั้ง
0 = A	-60	24.8	18.1	-50	31.8	25.4
200	-60	30.4	21.4	-58	33.5	23.6
400	-54	44.2	21.9	-52	45	20.2
600	-65	24.1	19.7	-56	32.6	23.7
800	-67	11.9	20.6	-61	15.63	22.9
1000=AB	-69	5.9	19.4	-47	47.9	24.2
1200	-66	9.14	20.1	-53	47.2	27.8
1400	-71	16.1	14.8	-47	27.1	23.5
1600	-60	22.4	13.8	-51	42.8	23.8
1800	-52	20.1	19.7	-51	21.9	21.8
2000 = B	-54	22.5	18.6	-54	23.5	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 กราฟเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณสัญญาณ ดาวน์โหลดและอัพโหลดก่อนติดตั้ง-หลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณสัญญาณก่อนติดตั้ง-หลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบการดาวน์โหลดและอัพโหลดก่อนติดตั้ง-หลังติดตั้งที่ย่านความถี่ 2100 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 – 4.6 เป็นกราฟเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณ ค่าความไวโหลตและอัฟโหลต ก่อนติดตั้ง-หลังติดตั้ง site remote เพิ่ม ที่ย่านความถี่ 2100 MHz ที่ได้จากการลงพื้นที่เก็บข้อมูล (Drive Test) จากกราฟแสดงให้เห็นว่าในทุกตำแหน่งหลังการติดตั้ง site remote ค่าความเข้มของสัญญาณ ความไวโหลตและอัฟโหลตที่ตรวจวัดได้มีค่าที่ดี ซึ่งบ่งบอกถึงคุณภาพของสัญญาณที่ดี และส่งผลถึงค่าการดาวน์โหลดและอัฟโหลตข้อมูลก็จะรวดเร็วยิ่งขึ้น

จากผลการจำลองการปรับปรุงจุดอับของสัญญาณโทรศัพท์โดยใช้เทคนิคการออกแบบติดตั้ง Site Remote ที่ย่านความถี่ 2100 MHz เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งจุด เพื่อเป็นเซลล์ไซต์ ( cell site ) เชื่อมต่อเครือข่ายโทรศัพท์และเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการในพื้นที่อับสัญญาณให้ใช้งานได้ดีมากยิ่งขึ้น จะพบว่าความแรงของสัญญาณเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าความแรงของสัญญาณก่อนติดตั้งกับหลังติดตั้ง Site Remote จะได้ค่าความแรงของสัญญาณที่ดีกว่าอยู่ที่ 86.47% มีค่าการดาวน์โหลดที่ดีกว่าอยู่ที่ 227.99% และมีค่าการอัฟโหลตที่ดีกว่าอยู่ที่ 127.54%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผล

การปรับปรุงจุดอับของสัญญาณโทรศัพท์ที่นำเสนอ นั้น โดยใช้เทคนิคการออกแบบติดตั้ง Site Remote เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งจุด เพื่อเป็นเซลล์ไซต์ ( cell site ) เชื่อมต่อเครือข่ายโทรศัพท์และเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการในพื้นที่อับสัญญาณให้ใช้งานได้ตามปกติและเพิ่มค่าการดาวน์โหลดอัฟโหลดข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าความแรงของสัญญาณเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบค่าความแรงของสัญญาณก่อนติดตั้งกับหลังติดตั้ง Site Remote จะได้ค่าความแรงของสัญญาณที่ดีกว่า 86.47% มีค่าดาวน์โหลดที่ดีกว่าอยู่ที่ 227.99% และมีค่าอัฟโหลดที่ดีกว่าอยู่ที่ 127.54% โดยใช้โปรแกรม G-NetTraCLite และ Speedtest ในการเก็บผลจำลองการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วิรุณศักดิ์สันติเพ็ชร์, การสื่อสารไร้สายร่วมกับผลป้อนกลับ ที่จำกัด.-กรุงเทพฯ : ยูเพลส คอปอเรชั่น, 2561.
- [2] ประสิทธิ์ ทีฆพุดิ, เครือข่ายระบบโทรคมนาคม พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2559 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [3] ลัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ, หลักการวิศวกรรมโทรคมนาคม พิมพ์ครั้งที่ 2 พ.ศ. 2559 (ฉบับปรับปรุงใหม่) สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- [4] ประสิทธิ์ ทีฆพุดิ, ไพโรจน์ ไหววานิชกิจ และองอาจ เรืองรุ่งโสม เทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่สร้างสรรค์ผลงานโดยโครงการไอซีที-เทเลคอมออนไลน์ (www.ICT-TELECOMonline.com) โครงการเผยแพร่ความรู้ขั้นพื้นฐานทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารโทรคมนาคมแก่ประชาชนในลักษณะกึ่งออนไลน์ E-mail Adress: ict\_telecomonline@yahoo.com พิมพ์ครั้งแรกกันยายน 2549 ISBN: 978-974-7119-82-4
- [5] A.T. Tahat, Y.A. Alqudah, "Analysis of propagation models at 2.1 GHz for simulation of a live 3G cellular network," Wireless Advanced Conference, London, UK, pp. 164-169, Jun.2011.
- [6] P. Prajesh, R. K. Singh, "A survey on various propagation models for wireless Communication," Proc. IEEE-ICACCT, Jinan, CHINA, pp. 61-64, Nov. 2011.
- [7] H. Kaaranen, A. Ahtiainen, L. Laitinen, S. Naghian, V. Niemi, "UMTS Networks Architecture Mobility and Services," 2<sup>nd</sup>, New York : John wiley & Sons. 2005.
- [8] M. A. Nisirat, M. Ismail, L. Nissirat, S. Al-Khawaldeh, "A terrain roughness correction factor for Hata path loss model at 900 MHz," Progress In Electromagnetics Research., vol.19, pp. 11-22, 2011.
- [9] T. K. Sarkar, Z. Ji, K. Kim, A. Medouri, Salazar-Palma M, "A Survey of Various Propagation Models for Mobile Communication," IEEE Antenna and Propagation Magazine., vol.45, no. 3. pp. 51-82, 2003.
- [10] Y. Singh, "Comparison of Okumura Hata and COST-231 Models on the Basis of Path Loss and Signal Strength," International Journal of Computer Applications, vol. 59, no. 11. pp. 37-41, 2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การแก้ไขจุดอ่อนของสัญญาณโทรศัพท์

### Improving the Weak Signal of Cellular Phone

ถาวร อภัยศิลา สิริภพ ตู๊ประกาย

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 0-2329-8000 ต่อ 3363-4 E-mail: sirapop.to@kmitl.ac.th, siraphop@telecom.kmitl.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเชื่อมต่อระบบคลื่นความถี่ของสัญญาณโทรศัพท์ที่มีจุดอ่อนสัญญาณ โดยใช้เทคนิคการออกแบบติดตั้ง Site Remote หรือ Site Small Cell เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์ในพื้นที่อับสัญญาณให้สามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี เมื่อเทียบกับแบบเดิมที่มีการออกแบบไว้ และสามารถลดงบประมาณในการสร้างสถานีฐาน โดยจำลองการทำงานโดยใช้โทรศัพท์มือถือยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น J7 และโปรแกรม G-NETTRACLITE และ SPEED TEST เพื่อเก็บผลจำลองการทำงานนี้

คำสำคัญ: จุดอ่อนสัญญาณ, Site Remote, Site Small Cell, ความแรงของสัญญาณ

#### Abstract

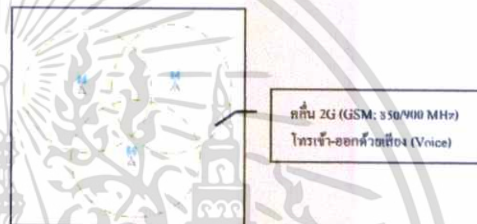
This paper described the connection of frequency wave system of cellular phone with low and unavailable signal. It used to install technique of adding one more point of site remote or site small scale as a site or connecting frequency wave system of cellular phone signal. The aim of this connection was to improve the cellular signal in the remote area. When comparing to old one, it could reduce the budget in constructing site with lower telecom tower. In collecting data, the sample model employed SAMSUNG J7 and used a program in testing with G-NETTRACLITE and Speed test.

Keywords: Weak Signal, Site Remote, Site Small Cell, Signal Strength

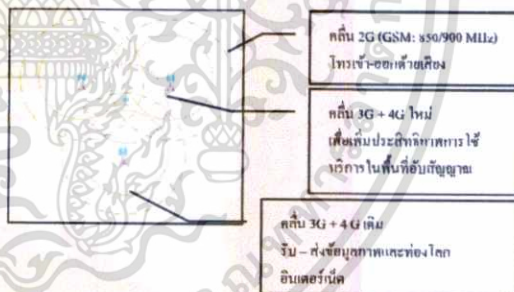
#### 1. บทนำ

การสื่อสารด้านข้อมูลหรือดาต้า (Data) มีบทบาทและความสำคัญมากขึ้น ในชีวิตประจำวัน เช่น การใช้โทรศัพท์มือถือแบบเสียง (Voice) การส่งข้อความหากันผ่านทาง SMS การติดต่อสื่อสารกันแบบส่งข้อมูลได้แก่ การส่ง E-mail, Line, What App, Face Book, Twitter และอีกหลาย ๆ ช่องทางผ่านแอปพลิเคชันต่าง ๆ ซึ่งการออกแบบระบบ

โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณ การให้ผู้ใช้บริการใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและครอบคลุมทุกพื้นที่ดังรูปที่ 1 [1]



รูปที่ 1 สถานีฐานเชื่อมต่อโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ GSM



รูปที่ 2 รูปแบบโครงข่ายที่มีหลายคลื่นความถี่ในหนึ่งสถานีเชื่อม โยงกัน

จากการพัฒนาเทคโนโลยียุค 2G ที่เป็น GSM (GPRS/EDGE) ไปเป็นยุค 3G และยุค 4G (LTE/LTE-A) ตามลำดับ[1-4] ซึ่งประเทศไทยเราตอนนี้มีคลื่นสื่อสารเพื่อให้บริการบนคลื่นความถี่ ได้แก่ คลื่นความถี่ 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz และ คลื่นความถี่ 2300 MHz เพื่อรองรับการใช้งานที่จะเพิ่มมากขึ้น ดังรูปที่ 2 ซึ่งในปัจจุบันจะพบว่าผู้คนใช้ข้อมูลสื่อสารกันในแต่ละเดือนมากกว่าการใช้การสื่อสารด้วยเสียงมากขึ้นทุกที ยิ่งความต้องการใช้งานด้านข้อมูลยิ่งมากขึ้น ความหนาแน่นในการใช้เครือข่ายของระบบ โทรศัพท์มือถือก็ยิ่งมากขึ้นด้วย ซึ่งจากสถานีฐานในยุคเดิมที่เป็น GSM ที่มีปัญหาคือมีจุดอ่อนสัญญาณ

11<sup>th</sup> ECTI-CARD 2019 “นวัตกรรมและเทคโนโลยี 4.0 เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและประเทศไทยอย่างยั่งยืน”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแข่งขันของสัญญาณเนื่องจากรวมอยู่เป็นจำนวนมาก การกวนกันของสัญญาณคลื่นความถี่เดียวกัน ความสูงของเสา ความถี่ที่ส่ง กำลังส่ง ภูมิประเทศและสภาพสิ่งแวดล้อม เช่น สภาพอากาศ ความชื้น ตำแหน่งความสูงของสายอากาศ เป็นต้น

บทความนี้นำเสนอการแก้ปัญหาจุดอ่อนของสัญญาณโทรศัพท์ โดยใช้เทคนิคการออกแบบติดตั้ง Site Remote หรือ Site Small Cell เพื่อเพิ่มจุดเชื่อมต่อคลื่นความถี่ของสัญญาณ โทรศัพท์ ซึ่งเป็นสถานีฐานที่มีขนาดเล็ก ใช้งบประมาณในการสร้างต่ำ เพื่อเชื่อมต่อระบบสัญญาณโทรศัพท์ให้ใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ

2. พื้นฐานระบบโทรศัพท์

โทรศัพท์มือถือที่ใช้งานกันในปัจจุบันทั้ง 2G(GSM), 3G (WCDMA, UMTS, HSPA) และ 4G (LTE) มีพื้นฐานการใช้งานแบบเซลลูลาร์ (Cellular) หรือแบ่งพื้นที่ให้บริการออกเป็นพื้นที่เล็ก ๆ (Cell) มีสถานีฐาน (Base Station) ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลด้วยสัญญาณวิทยุ (Radio Frequency) ที่แบ่งความถี่ออกเป็นช่อง ๆ หรือช่วงคลื่น และมีการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (Reuse) ในเซลล์อื่น ๆ เพื่อให้การใช้งานความถี่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพในส่วนของการออกแบบและให้บริการในระบบ ๆ หนึ่งจะประกอบไปด้วยสถานีฐานมากมาย และมีหลายขนาด ตั้งแต่มีพื้นที่ครอบคลุมมาก ๆ ในย่านชานเมืองหรือแม้แต่ที่ครอบคลุมในย่านเขตเมืองที่มีผู้ใช้บริการกันอย่างหนาแน่น

2.1 องค์ประกอบพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อระบบสัญญาณโทรศัพท์

2.1.1 เสาส่งสัญญาณ โทรคมนาคมมีอยู่ 5 แบบ [5-8] ได้แก่

1. เสาโทรคมนาคมแบบ Self-Support ดังรูปที่ 3(ก)
2. เสาโทรคมนาคมแบบ Guyed Tower ดังรูปที่ 3(ข)
3. เสาโทรคมนาคมแบบ Guyed Mast ดังรูปที่ 4(ก)
4. เสาโทรคมนาคมแบบ Pole ดังรูปที่ 4(ข)
5. เสาโทรศัพท์ในยุคปัจจุบัน ดังรูปที่ 5



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 เสาโทรคมนาคม (ก) แบบ Self-Support และ (ข) แบบ Guyed



(ก)



(ข)

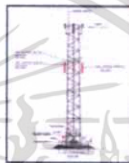
รูปที่ 4 เสาโทรคมนาคม (ก) แบบ Guyed Mast และ (ข) แบบ Pole



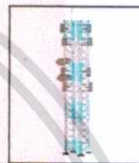
Wall Mount



เสาไฟฟ้า



เสา True GIF



เสาถลุง

รูปที่ 5 เสาโทรศัพท์ในยุคปัจจุบัน

การดำเนินการติดตั้งเสาโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ย่านความถี่ 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz และ 2300 MHz ให้สามารถครอบคลุมพื้นที่การให้บริการเพื่อให้ประชาชนในพื้นที่ได้มีการติดต่อ สื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ และเพียงพอต่อการให้บริการของประชาชน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการติดตั้งสถานีฐานรับส่งสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ในรูปแบบต่าง ๆ เพิ่มขึ้น

2.2 การออกแบบติดตั้งอุปกรณ์คลื่นความถี่ต่างๆ ในสถานีฐาน

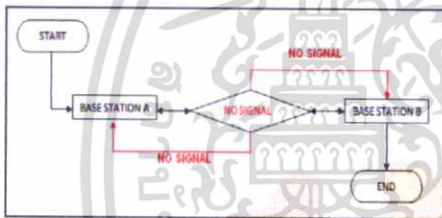
จากรูปที่ 6 แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของระบบจะประกอบด้วย Modem และ RRU (Remote Radio Unit) โดย RRU ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจาก modem และ Antenna และตัวโมเด็มจะเป็นตัวควบคุมอุปกรณ์ให้สื่อสารเชื่อมต่อกันได้ ซึ่งการต่ออุปกรณ์แต่ละคลื่นความถี่ก็จะมีการออกแบบที่หลากหลายแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้งานในพื้นที่



รูปที่ 6 องค์ประกอบพื้นฐานในการติดตั้งอุปกรณ์

### 3. ผลจำลองการทำงานก่อนเพิ่ม Site Remote

จากรูปที่ 7 แสดงขั้นตอนการทำงานก่อนการติดตั้ง Site Remote ซึ่งการทำงานเมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่โครงข่ายของสถานีฐาน A ไปยังสถานีฐาน B โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการวัดสัญญาณความแรงของสถานีฐาน A ที่ใช้งานอยู่กับสถานีฐาน B โดยเริ่มเดินทางจากสถานีฐาน A ดังนั้นสถานีฐาน A จะมีสัญญาณความแรงมากกว่าสถานีฐาน B ทำให้โทรศัพท์จัดการใช้งานที่สถานีฐาน A ซึ่งโทรศัพท์จะจัดการใช้งานสถานีฐาน A ไปเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่สถานีฐาน A มีสัญญาณความแรงมากกว่า สถานีฐาน B เมื่อระยะทางห่างออกไปไกลจากสถานีฐาน A มากเท่าไรสัญญาณความแรงก็จะยิ่งลดต่ำลง จนไม่มีสัญญาณ เพราะสถานีฐาน B ที่ส่งสัญญาณมาเชื่อมต่อกับสถานีฐาน A ซึ่งเกิดจากระยะห่างของสถานีฐานที่ไกลกัน ซึ่งพบได้ในแถวชนบท ตึกสูงมีสัญญาณในเขตเมือง ในเขตที่เป็นภูเขาและเขตที่มีต้นไม้ทึบ เป็นต้น จากนั้นเมื่อเดินทางเข้ามาในเขตที่เริ่มมีสัญญาณของสถานีฐาน B โทรศัพท์ก็จะเริ่มจับใช้งานสถานีฐาน B ที่มี ความแรงของสัญญาณแบบต่ำ และมีความแรงของสัญญาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่เราเข้าไปใกล้สถานีฐาน B



รูปที่ 7 การทำงานโครงข่ายของ Cellular ก่อนติดตั้ง Site Remote

จากผลการจำลองก่อนติดตั้งจากสถานีฐาน A ไปหาสถานีฐาน B โดยใช้โทรศัพท์มือถือยี่ห้อ SAMSUNG รุ่น J7 และใช้โปรแกรมในการ Test การทำงานประกอบด้วย G-NettracLite และ Speed test เก็บผลจำลองการทำงานที่ระยะทางห่างกันทุกจุด ๆ ละ 200 เมตร ดังรูปที่ 8 ความแรงของสัญญาณก่อนติดตั้ง site remote

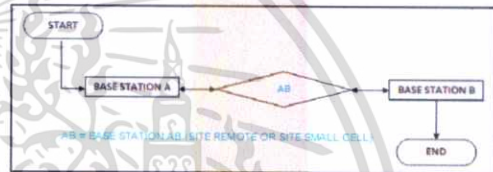


รูปที่ 8 กราฟความแรงของสัญญาณก่อนติดตั้ง site Remote

### 4. ผลการทดลอง

จากรูปที่ 9 แสดงการทำงานหลังติดตั้ง Site Remote การทำงานเมื่อใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ของโครงข่าย ที่สถานีฐาน A ไปหาสถานีฐาน AB และสถานีฐาน B โทรศัพท์จะทำการวัดสัญญาณความแรงของ

สถานีฐาน A ที่ใช้งานอยู่กับสถานีฐาน AB เริ่มเดินทางจากสถานีฐาน A ดังนั้นสถานีฐาน A จึงมีสัญญาณความแรงมากกว่าสถานีฐาน AB ทำให้โทรศัพท์จับใช้งานสถานีฐาน A ซึ่งโทรศัพท์จะจับใช้งานไปเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่สถานีฐาน A มีสัญญาณความแรงมากกว่าสถานีฐาน AB เมื่อระยะทางห่างออกไปไกลจากสถานีฐาน A มากเท่าไรสัญญาณความแรงก็จะยิ่งลดต่ำลง เมื่อสัญญาณจากสถานีฐาน A ที่ใช้งานอ่อนกว่าสถานีฐาน AB จึงทำให้โทรศัพท์จับใช้งานสถานีฐาน AB แทนซึ่งมีสัญญาณความแรงมากกว่าสถานีฐาน A และโทรศัพท์จะจับใช้งานสถานีฐาน AB ไปเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่สถานีฐาน AB มีสัญญาณความแรงมากกว่า สถานีฐาน A และ B เมื่อระยะทางห่างออกไปไกลจากสถานีฐาน AB มากเท่าไรสัญญาณความแรงก็จะยิ่งลดต่ำลงเพราะเริ่มเข้าใกล้เขตสถานีฐาน B จากนั้นสัญญาณจากสถานีฐาน AB ที่ใช้งานอ่อนกว่าสถานีฐาน B ก็จะทำให้การโอนไปใช้ยังสถานีฐาน B ที่มีสัญญาณแรงกว่า



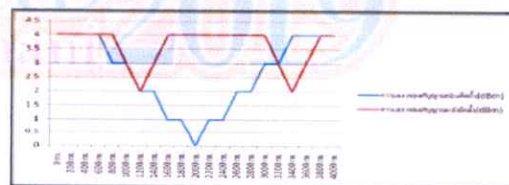
รูปที่ 9 การทำงานโครงข่ายของ Cellular หลังติดตั้ง Site Remote

การเก็บผลการจำลองหลังติดตั้งจากสถานีฐาน A ไปหาสถานีฐาน B โดยใช้โทรศัพท์มือถือ SAMSUNG J7 และใช้ G-NettracLite และ Speed test เก็บผลจำลองการทำงานที่ระยะทางห่างกันทุกจุด ๆ ละ 200 เมตร ดังรูปที่ 10



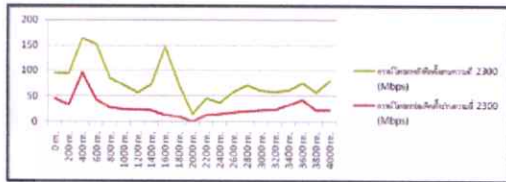
รูปที่ 10 กราฟความแรงของสัญญาณหลังติดตั้ง site Remote

รูปที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณก่อนกับ หลังติดตั้ง site remote

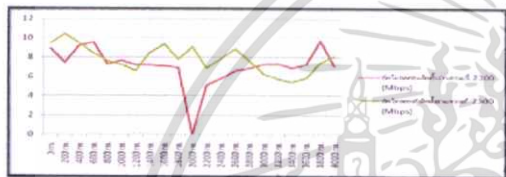


รูปที่ 11 การเปรียบเทียบความแรงของสัญญาณก่อนกับหลังติดตั้ง site remote

จากรูปที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบค่าความไหลและค่าอัตราไหล ก่อนติดตั้งกับหลังติดตั้ง site remote ที่ระบบความถี่ 2300 MHz และรูปที่ 13 กราฟการเปรียบเทียบอัตราไหลก่อนติดตั้งกับหลังติดตั้ง site remote ที่ย่านความถี่ 2300 MHz



รูปที่ 12 กราฟการเปรียบเทียบความไหลก่อนติดตั้งกับหลังติดตั้ง site remote ที่ย่านความถี่ 2300 MHz



รูปที่ 13 กราฟการเปรียบเทียบอัตราไหลก่อนติดตั้งกับหลังติดตั้ง site remote ที่ย่านความถี่ 2300 MHz

จากผลการจำลอง การแก้ไขจุดอ่อนของสัญญาณโทรศัพท์ โดยใช้เทคนิคการออกแบบติดตั้ง Site Remote ที่ย่านความถี่ 2100 MHz และย่านความถี่ 2300 MHz เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งจุด เพื่อเป็น Site เชื่อมต่อคลื่นความถี่ของสัญญาณโทรศัพท์ จะพบว่าความแรงของสัญญาณเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าความแรงของสัญญาณก่อนกับหลังติดตั้ง site remote จะได้ค่าความแรงของสัญญาณดีกว่าอยู่ที่ 35.71% มีค่าการดาวน์โหลดที่ 85.57% และมีค่าการอัปโหลดที่ดีกว่าอยู่ที่ 33.62%

**5. สรุป**

การแก้ไขจุดอ่อนของสัญญาณโทรศัพท์ที่นำเสนอ นั้น โดยใช้เทคนิคการออกแบบติดตั้ง Site Remote เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งจุด เพื่อเป็นสถานีเชื่อมต่อคลื่นความถี่ของสัญญาณโทรศัพท์และเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการในพื้นที่ที่อ่อนสัญญาณ ซึ่งจากผลการจำลองพบว่าความแรงของสัญญาณเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบค่าความแรงของสัญญาณก่อนกับหลังติดตั้ง Site Remote จะได้ค่าความแรงของสัญญาณที่ดีกว่า 35.71% มีค่าการดาวน์โหลดที่ดีกว่าอยู่ที่ 85.57% และมีค่าการอัปโหลดที่ดีกว่าอยู่ที่ 33.62% โดยใช้โทรศัพท์มือถือยี่ห้อ Samsung รุ่น J7 และใช้โปรแกรม G-NetracLite และ Speed Test ในเก็บผลจำลองการทำงาน

**เอกสารอ้างอิง**

- [1] อวิฬ พึ่งมา, ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์, ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พิมพ์ครั้งที่ 2, พ.ศ. 2541.
- [2] ประสิทธิ์ ทิมพุดิ, ไพโรจน์ ไหววนิชกิจ และองอาจ เรืองรุ่งโสม, เทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่, โครงการไอซีที-เทคโนโลยีออนไลน์, พิมพ์ครั้งแรก, กันยายน 2549.
- [3] ไพโรจน์ ไหววนิชกิจ, เปิดโลกโทรศัพท์มือถือ GSM คู่ UMTS, ซีไอเคยูเคชั่น, 2545.
- [4] ไพโรจน์ ไหววนิชกิจ และ กมล เขมระรังสี, เปิดโลกการสื่อสารไร้สาย, ซีไอเคยูเคชั่น, 2539.
- [5] W.C.Y. Lee, Mobile Cellular Telecommunications Systems, McGraw-Hill International, 1989.
- [6] CCITT: General Network Planning, Geneva, 1983.
- [7] CCITT Recommendation: Definitions relating to national and international numbering plans, Blue Book, Vol. 2II, Rec.E.160, ITU, Geneva, 1989.
- [8] CCITT Recommendation: Numbering plan for the international telephone service, Blue Book, Vol.II, Rec.E.163, ITU, Geneva, 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายถาวรอภัยศิลา  
วัน เดือน ปีเกิด 22 เมษายน 2528  
ที่อยู่ 69 หมู่ที่ 10 ตำบลตุม อำเภอสรีรัตนะ จังหวัดศรีสะเกษ 33240  
ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีปี 2554 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และ ทรัพยากรมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

### ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ.2555-2557 ตำแหน่งวิศวกร (Site Supervisor Engineer) บริษัท เวสคอมมิวนิเคชั่น จำกัด  
พ.ศ.2557-2558 ตำแหน่งช่างซ่อมบำรุงประจำที่ AIS จังหวัดปราจีนบุรี  
พ.ศ.2558-2559 ตำแหน่งวิศวกร (Site Supervisor Engineer) บริษัท อีริคสัน (ประเทศไทย) จำกัด  
พ.ศ.2561-2562 ตำแหน่งวิศวกร (Site Supervisor Engineer) บริษัท อีริคสัน (ประเทศไทย) จำกัด

### บทความที่ได้ได้รับการตีพิมพ์

[1] ถาวร อภัยศิลา, สิริภพ ตู้ประกาย “การแก้ไขจุดอับของสัญญาณโทรศัพท์” ในการประชุม วิชาการระดับชาติ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 11 (ECTI-CARD 2019) ระหว่างวันที่ 4 – 7 มิถุนายน พ.ศ.2562 ณ บ้านสวนคุณตา กอล์ฟ แอนด์ รีสอร์ท จังหวัดอุบลราชธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้