

วิธีการออกแบบระบบและเลือกตำแหน่งของเซลในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า

CELL SITE SELECTION AND SYSTEM DESIGN
FOR CELLULAR MOBILE TELEPHONE

หนังสืออ้างอิง
ห้ามนำออกนอกห้องสมุด

นาย สหะไชย วิลาสสุวรรณ
MR. SAHACHAI WILASUWAN



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2537

ISBN 976-621-253-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้
เลขหมู่..... 22978
เลขทะเบียน.....
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีการออกแบบระบบและการเลือกตำแหน่งของเซลในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า
นักศึกษา	นาย สหะไชย วิลาสุวรรณ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. ถวิล พึ่งมา
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปการออกแบบเซลในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า จะขึ้นอยู่กับตัวแปรของขนาดและตำแหน่งของเซลไซต์นั้นๆ ขนาดของเซลไซต์สามารถคำนวณจากสภาพทราฟฟิกการใช้งานและจำนวนของช่องสัญญาณที่ถูกกำหนดไว้ในแต่ละเซล การครอบคลุมพื้นที่ของเซลจะถูกออกแบบเป็นลักษณะของเซลวงกลมตามลักษณะการแพร่กระจายคลื่นแบบรอบทิศทาง แต่จากการศึกษาวิจัยพบว่าการครอบคลุมพื้นที่ของเซลจะไม่เป็นวงกลม อันเนื่องมาจากการลดทอนของสัญญาณจากสภาพภูมิประเทศของเซลนั้นๆ เช่น ความสูงของสิ่งก่อสร้าง ความสูงต่ำของพื้นที่ เป็นต้น การที่ขอบของเซลมีลักษณะเว้าๆแหว่งๆ ทำให้รอยต่อระหว่างเซลอาจจะเกิดช่องว่างหรือเหลื่อมล้ำเข้าไปในเซลข้างเคียงได้ เป็นสาเหตุให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์ การเรียกขาดหาย และสัญญาณจางหายขณะสนทนาได้ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เสนอวิธีการออกแบบเพื่อเลือกขนาดและตำแหน่งของเซลที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพดีที่สุดในแต่ละพื้นที่ โดยการหาขนาดของเซลคร่าว ๆ จากปริมาณทราฟฟิกการใช้งานและจำนวนของช่องสัญญาณก่อน จากนั้นจึงหาขอบเขตที่แท้จริงของเซลตามภูมิประเทศ โดยการคำนวณหาค่าระดับสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในทิศทางต่างๆ เช่น สภาพของสิ่งก่อสร้าง ความสูงของสายอากาศรับและส่ง ความสูง-ต่ำของพื้นดินมาเป็นฐานข้อมูล และนำมาใช้ประกอบกับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ซึ่งจะทำได้พื้นที่การบริการของเซลไซต์ที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง เมื่อพิจารณาร่วมกับเซลข้างเคียงที่ใช้หลักการเดียวกัน ก็จะทำให้สามารถเลือกเซลไซต์ที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละพื้นที่ ก่อนที่จะติดตั้งเซลไซต์จริง ส่วนในกรณีที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเซลไซต์ได้ จะสามารถใช้ผลของโปรแกรม ในการหาค่าพารามิเตอร์ของกำลังส่งของเซลไซต์ ความสูงของสายอากาศ และมุมการบีมของสายอากาศ เพื่อเสริมหรือลดพื้นที่การให้บริการของเซลไซต์นั้นๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THESIS TITLE CELL SITE SELECTION AND SYSTEM DESIGN FOR
 CELLULAR MOBILE TELEPHONE
STUDENT Mr. SAHACHAI WILASUWAN
THESIS ADVISOR ASSOC.PROF. TAWIL PAUNGMA
LEVEL OF STUDY MASTER IN ELECTRICAL ENGINEERING

Abstract

In general, the designation of cell site for Cellular Mobile Telephone depend on size and location. Size of cell is calculated from condition of traffics and number of channels in each cell. Cell coverage are designed to be omnidirectional characteristic propagation. The study and research found that the cell coverage is not a circle because of the signals are attenuated owing to landscape environment such as high of building and terrain contours will have the boundary of each cell is concaved. The connection of each cell is occuring hole or overlap cause interference, call drop and weak signal during conversation. To solve such problem, this thesis propose a method of design and selection the cell site for most suitable and efficient in each area, which approximate the site of the cell from condition of traffics and number of channels. Then determine the boundary of certainly cell to meet with the landscape environment, which is calculated signal level of mobile telephone under the CCIR regulation around the cell site using data of landscape such as condition of building , height of receiving antenna, heighth of transmitting antenna and terrain contours. The data of landscape are arranged to meet with the data base for program development to determine service area of closely to actual application with the same consideration to the adjacent cell to select the cell site for the most suitable in is area before installation the cell site. In case the location of cell sites difficult to change, the result of program is used to determine parameters power transmitter of that cell site, height of antenna and tiled angle of antenna for increase or decrease the service area of that cell site.

การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการแนะนำและช่วยเหลือจาก รศ. ถวิล พึ่งมา และ รศ. มนูญ สุขเกษม ตลอดมา ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆทุกคนที่ช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณพ่อ และคุณแม่ ที่ให้โอกาสและสนับสนุนให้ข้าพเจ้าได้เล่าเรียนมาจนถึงจุดนี้ รวมทั้งให้กำลังใจ และคำแนะนำสั่งสอนมาตลอด

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณมูลนิธิคอมพิวเตอร์และการสื่อสารที่ได้มอบทุนช่วยเหลือในการทำวิจัยนี้ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

นาย สหะไชย วิชาสุวรรณ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

Abstract

กิตติกรรมประกาศ

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	2
1.2 ขอบข่ายและเหตุจูงใจในการวิจัย	8
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์	11
2.1 โครงข่ายของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์	11
2.1.1 ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่	12
2.1.2 สถานีฐานหรือเซลล์ไซต์	13
2.1.3 เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่	14
2.2 การให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์	14
2.2.1 การเรียกจากภายนอกไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่	14
2.2.2 การเรียกจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่	16
2.3 พื้นที่การให้บริการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์	16
2.3.1 เซลในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์	18
2.3.2 รูปแบบเซลในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์	20
2.3.3 การจัดกลุ่มเซล	24
2.3.3.1 การยืมช่องสัญญาณจากเซลอื่น ๆ	27
2.3.3.2 การแบ่งเซล	28
2.3.3.3 การแบ่งเซลชั้นนอกและเซลชั้นใน	29
2.3.3.4 การแบ่งเซลแบบเซคเตอร์	31
2.4 การอินเตอร์เฟอเรนซ์	33
2.4.1 การอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณที่เหมือนกัน	34
2.4.2 การอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณข้างเคียง	37
2.4.2.1 การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ภายในเซลเดียวกัน	38
2.4.2.2 การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ระหว่างเซล	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การเปลี่ยนเซล	39
2.5.1 การหน่วงเวลาการเปลี่ยนเซล	41
2.5.2 การบังคับการเปลี่ยนเซล	43
2.5.3 การจัดคิวการเปลี่ยนเซล	45
บทที่ 3 เทคนิคต่างๆในการออกแบบเซลของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า	50
3.1 หลักการแพร่กระจายคลื่น	50
3.2 ระดับของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่	52
3.3 การลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่	56
3.3.1 การลดทอนของสัญญาณจากการเดินทางของคลื่นในอากาศ	58
3.3.2 การลดทอนของสัญญาณจากพื้นโลก	58
3.3.3 การลดทอนของสัญญาณจากการหักเหของคลื่น	61
3.4 วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่	68
3.4.1 วิธีการของ Egli	68
3.4.2 วิธีการของ Blomduist-Ladell	68
3.4.3 วิธีการของ Edward-Durkin	70
3.4.4 วิธีการของ Okumura	70
3.4.5 วิธีการของ Hata	73
3.4.6 วิธีการของ Allsebrook-Parsons	74
3.4.7 การเปรียบเทียบค่าการลดทอนจากวิธีการต่างๆ	75
3.5 ระบบสายอากาศในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า	79
3.5.1 ความสูงและแกนของสายอากาศ	79
3.5.2 ผลของแพทเทิร์นสายอากาศและการปรับมุมเอียงของสายอากาศ	81
บทที่ 4 วิธีการออกแบบเซลในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า	85
4.1 การออกแบบเซลในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า	86
4.1.1 การหาขนาดของเซลและจำนวนช่องสัญญาณของเซล	86
4.1.2 การหาพารามิเตอร์ของสถานีฐาน	89
4.1.3 การหาขอบเขตของเซล	91
4.1.4 การหาขอบเขตของเซลในพื้นที่ต่างๆ	95
4.2 โปรแกรมในการออกแบบเซลของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า	99
4.2.1 การทำงานของโปรแกรมการออกแบบเซล	99
4.2.2 โครงสร้างของโปรแกรมการออกแบบเซล	103
4.3 การทดลองออกแบบเซลในพื้นที่ต่างๆ	107
4.3.1 การออกแบบเซลในพื้นที่โล่ง	107
4.3.2 การออกแบบเซลในเขตพื้นที่ตัวเมือง	107
4.3.3 การออกแบบเซลในเขตพื้นที่เป็นเนิน	112

4.4 การจำลองสร้างสถานีฐาน	116
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	121
5.1 ผลจากการออกแบบเซลล์ในพื้นที่ต่างๆ	121
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบ	122
5.3 สรุปและข้อเสนอแนะ	122
 เอกสารอ้างอิง	 124
 ภาคผนวกที่ 1 ตารางทราฟฟิกการใช้งานโทรศัพท์ (Erlang)	 126
ภาคผนวกที่ 2 โปรแกรมในการออกแบบเซลล์ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่	135



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในสภาพการณ์ปัจจุบันการบริการด้านการสื่อสารโทรคมนาคมเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อสภาพเศรษฐกิจ ที่สามารถพูดคุยหรือติดต่อธุรกิจโดยไม่จำเป็นต้องไปพบกัน ทำให้การติดต่อธุรกิจสามารถทำได้รวดเร็ว ทันท่วงที การสื่อสารโทรคมนาคมจึงมีความเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ดังจะเห็นได้จากความต้องการใช้โทรศัพท์และอุปกรณ์โทรคมนาคมต่างๆ เพิ่มมากขึ้นมาเป็นลำดับ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เป็นบริการหนึ่งร่วมกับระบบชุมสายโทรศัพท์ที่สามารถให้บริการได้ในลักษณะเดียวกับการใช้โทรศัพท์ทางสายธรรมดา ซึ่งก็คือใช้ระบบสื่อสารทางคลื่นวิทยุแทนการใช้สายทองแดงที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับชุมสายโทรศัพท์ ทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถใช้ในการติดต่อสื่อสารได้สะดวกยิ่งขึ้น แม้กระทั่งอยู่ในรถยนต์บนท้องถนนที่วิ่งววยไปกับการจราจรที่ติดขัดหรือบางสถานที่ ที่ไม่สามารถใช้ระบบโทรศัพท์ธรรมดาได้ เช่นในบริเวณห่างไกลที่สายสายไปไม่ถึง บนเรือที่แล่นอยู่ในแม่น้ำหรือทะเล เป็นต้น ด้วยประสิทธิภาพและความโดดเด่นของโทรศัพท์เคลื่อนที่ จึงทำให้ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางและมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว เมื่อจำนวนของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่มีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนกระทั่งถึงจุดหนึ่ง ที่เกินขีดความสามารถของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะรองรับได้ จะทำให้เกิดการบล็อกของโทรศัพท์ในการโทรออกเพิ่มมากขึ้นเกินอัตราที่ยอมรับได้ จึงต้องมีการขยายขีดความสามารถของระบบเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งข้อดีของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าอย่างหนึ่ง ก็คือสามารถที่จะปรับเปลี่ยนภายในระบบที่จะทำให้สามารถรองรับสภาพทราฟฟิกได้เพิ่มสูงขึ้น โดยการปรับขนาดของเซลล์และจัดตำแหน่งของเซลล์ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ดังนั้นการออกแบบและการเลือกตำแหน่งของเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จึงมีความสำคัญมากในการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จากเดิมให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นและสามารถรองรับสภาพทราฟฟิกได้สูงขึ้น ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการใช้งานจริงตามสภาพปัจจุบันและอนาคต

ในวิธีการออกแบบเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า จะได้จากการพิจารณาจากสภาพทราฟฟิกการใช้งานในแต่ละพื้นที่ โดยสมมุติว่าการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ มีลักษณะเป็นวงกลม ดังนั้นเมื่อทำการออกแบบโครงข่ายทั้งหมด ก็จะต้องออกแบบให้เซลล์มีการครอบคลุมพื้นที่เหลื่อมกันเป็นบางส่วน เพื่อให้สามารถใช้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ตลอดพื้นที่โดยที่สายไม่หลุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า แต่ในสภาพความเป็นจริงแล้ว การครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ต่างๆ จะมีลักษณะที่ไม่เป็นวงกลม มีวากัณณโคจรที่ซ้อนกัน ออกห่างกันมีเขตแดนเปลี่ยนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่จะอาศัยการแพร่กระจายทางคลื่นวิทยุ ซึ่งการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุจะมีค่าการลดทอนของสัญญาณตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่ เช่น ความสูงของสิ่งก่อสร้าง ระดับความสูงของพื้นดิน เป็นต้น ทำให้การแพร่กระจายคลื่นในทิศทางต่าง ๆ รอบสถานีฐานมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงทำให้พื้นที่บริการของเซลมีลักษณะที่ไม่เป็นวงกลม และเมื่อใช้วิธีการเดียวกันพิจารณาพร้อมกับเซลที่อยู่ข้างเคียง ก็จะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลหรือมีการเหลื่อมล้ำเข้าไปในเซลอื่นมากเกินไป จากในการออกแบบเซลแบบเดิม ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดสายหลุดขณะสนทนาอยู่ เมื่อมีการเคลื่อนที่ผ่านจุดที่เกิดช่องว่างระหว่างเซล หรือมีสัญญาณเสียงอื่นเข้ามาแทรกแซงเมื่ออยู่ในจุดที่มีการเหลื่อมล้ำเข้าไปในเซลอื่น ๆ มากเกินไป

ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดในการออกแบบเซลใหม่เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นข้างต้น โดยจะออกแบบเซลโดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อมของพื้นที่ด้วย ที่จะทำให้ได้ทราบขอบเขตของเซลที่ใกล้เคียงการใช้งานจริง โดยใช้หลักการคำนวณของการแพร่กระจายคลื่น

1.1 วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เริ่มมีขึ้นจากการที่นาย M.G.Marconi ได้ทำการทดลองทำการติดต่อสื่อสารผ่านทางคลื่นวิทยุระหว่างสถานีบนพื้นดินกับเครื่องรับที่อยู่บนเรือโยงที่มีระยะห่างกันประมาณ 18 ไมล์ ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการใช้การสื่อสารวิทยุเคลื่อนที่ หลังจากนั้นจึงมีการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นี้กับการบริการด้านอื่น เช่น งานด้านตำรวจ เป็นต้น หลังจากนั้นได้มีการพัฒนา โดยนำมาเชื่อมโยงกับระบบโทรศัพท์ จึงเกิดระบบโทรศัพท์ใหม่ ที่เรียกว่า ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Telephone Systems)

การทำงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเดิมจะมีการติดตั้งเครื่องรับ-ส่งสัญญาณวิทยุกำลังสูง และตั้งอยู่ในที่สูง เช่น บนเนินเขา เพื่อที่จะทำให้ขอบเขตของการให้บริการมีพื้นที่กว้าง สถานีฐานที่ทำหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณวิทยุของโทรศัพท์เคลื่อนที่ แต่ละสถานีจะสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้โซนหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องมีการติดตั้งสถานีฐานเพิ่มตามจุดต่าง ๆ เพื่อสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างยิ่งขึ้น แต่การใช้งานของระบบเดิม เมื่อเครื่องโทรศัพท์มีการเริ่มเรียกจากในพื้นที่ของโซนหนึ่ง แต่มีการเคลื่อนที่ไปยังโซนอื่น จะทำให้การเรียกนั้นขาดหายไปหรือสายหลุด ซึ่งจะต้องทำการเรียกใหม่อีก จึงไม่สามารถรับประกันได้ว่าการเรียกจะสามารถกระทำได้สมบูรณ์จนสิ้นสุดการใช้โทรศัพท์ทุกครั้งไป จึงได้มีการพัฒนาระบบการเปลี่ยนเซล (Hand-off) ขึ้นระหว่างเซล ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงการติดต่อของโทรศัพท์เคลื่อนที่ขณะที่มีการเปลี่ยนจากเซลหนึ่งไปยังอีกเซลหนึ่งโดยอัตโนมัติ ทำให้การเรียกสามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เริ่มมีการใช้ครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยในปี ค.ศ. 1946 ได้มีการทดลองใช้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในย่านความถี่ 150 MHz โดยมีช่องสัญญาณ 6 ช่องสัญญาณ การเชื่อมโยงกับโครงข่ายโทรศัพท์ ยังต้องใช้พนักงานสลับสายเชื่อมต่อกับโครงข่ายโทรศัพท์ โดยมีระยะห่างระหว่างช่องสัญญาณ 60 KHz ต่อมาความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการลดช่องว่างระหว่างช่องสัญญาณเหลือเพียง 30 KHz จึงมีช่องสัญญาณเพิ่มขึ้นเป็น 11 ช่องสัญญาณและทาง FCC (Federal Communications Commission) ได้อนุญาตให้ใช้ความถี่ย่าน 450 MHz อีก 12 ช่องสัญญาณ แต่ก็ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้บริการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ต่อมาในปี ค.ศ. 1975 ทาง FCC ได้อนุญาตให้ความถี่ในช่วง 800-900 MHz เป็นอิสระให้เอกชนสามารถสร้างระบบสื่อสารในย่านความถี่นี้ได้ ทางบริษัท AT&T จึงได้นำความถี่ในช่วงดังกล่าวมาใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ใหม่ที่มีการใช้เทคนิคในการนำความถี่ที่ถูกใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่ (frequency reused) ในเขตพื้นที่ต่างกัน ซึ่งก็คือระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ (Cellular Mobile Telephone) ที่เป็นการใช้สเปกตรัมความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการทดลองใช้ที่เมืองชิคาโก ในปี ค.ศ. 1983 และต่อมาก็ได้มีการแพร่กระจายไปทั่วประเทศ นอกจากนี้ก็ยังมี การนำแนวความคิดของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ไปพัฒนาประยุกต์ใช้ทั่วโลกโดยเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและมาตรฐานให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมตลอดจนย่านความถี่ที่อนุญาตให้ใช้

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีใช้อยู่ทั่วโลกมีความแตกต่างกันอยู่หลายระบบซึ่งเกิดขึ้นจากการพัฒนาขึ้นมาจากแต่ละประเทศที่มีการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับเรื่องระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานที่มีจำนวนเพิ่มสูงขึ้น และพัฒนาให้มีประสิทธิภาพของสัญญาณเสียงดีขึ้น เพื่อความเหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละพื้นที่ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้รับความนิยมในการใช้งานทั่วโลกมีดังนี้

- ระบบ NMT-450 (Nordic Mobile Telephone) ซึ่งเป็นระบบที่มีการออกแบบโดยองค์การโทรคมนาคมของกลุ่มนอร์ดิกในแถบประเทศยุโรป ซึ่งได้แก่ประเทศเดนมาร์ก ฟินแลนด์ นอร์เวย์และสวีเดน เมื่อปี ค.ศ. 1980 ระบบนี้จะมีการทำงานในย่านความถี่ 450 MHz แต่ระบบนี้ จะมีความจุของช่องสัญญาณต่ำ แต่สามารถที่จะส่งสัญญาณครอบคลุมพื้นที่ได้ไกล ซึ่งระบบนี้เหมาะที่จะใช้ในบริเวณที่มีการใช้หนาแน่นโทรศัพท์ไม่สูงมากนัก คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT-450 จะแสดงในตารางที่ 1.1

- ระบบ AMPS (Advance Mobile Phone System) ได้ถูกพัฒนาขึ้นใน ประเทศสหรัฐอเมริกาเมื่อปี ค.ศ. 1983 ระบบนี้จะมีการทำงานย่านความถี่ 800 MHz การให้บริการสามารถจะครอบคลุมพื้นที่ได้กว้าง โดยการใช้เทคนิคของการเอาความถี่กลับมาใช้ใหม่ทำให้สามารถที่จะขยายพื้นที่การให้บริการได้มากขึ้น และทำให้มีจำนวนช่องสัญญาณต่อพื้นที่เพิ่มสูงขึ้นได้ ซึ่งระบบนี้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แสดงคุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT-450

รายละเอียด	ระบบ NMT-450
ย่านความถี่ใช้ส่ง : จากสถานีฐาน	463-467.5 MHz
จากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่	453-457.5 MHz
ความกว้างของช่องสัญญาณ	25 KHz
จำนวนช่องสัญญาณ	180
รูปแบบการวางเซล	แบบ 7 เซล
การคอมแพนเดอร์ (compander)	ไม่มี
การมอดูเลตสัญญาณเสียง	FM
การมอดูเลตสัญญาณควบคุม	FFSK
อัตราการส่งข้อมูล	1.2 kbps.
ความจุของช่องสัญญาณควบคุม	13,000
การทำไดเวอร์ซิตี	ไม่ได้
รัศมีของเซล	1.8-40 km.

หมายเหตุ FM - Frequency Modulation

FFSK - Fast Frequency Shift Keying

- ระบบ TACS (Total Access Communication System) เป็นระบบที่ทางประเทศอังกฤษ ได้มีการพัฒนาจากระบบ AMPS ซึ่งในระบบนี้จะสามารถรองรับการใช้งานทางโทรศัพท์ได้เพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม โดยจะมีการใช้ย่านความถี่ที่สูงขึ้นคือ ย่านความถี่ที่ 900 MHz ซึ่งจะให้คุณภาพของสัญญาณที่ดีขึ้น คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ TACS จะแสดงในตารางที่ 1.3

- ระบบ NMT-900 เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นจากระบบ NMT-450 โดยกลุ่มประเทศในองค์กรโทรคมนาคมของกลุ่มนอร์ดิกในแถบประเทศยุโรป โดยจะมีการใช้ย่านความถี่ที่สูงขึ้น เป็นย่านความถี่ 900 MHz ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบ NMT-450 ที่ให้บริการได้ไม่เพียงพอกับความต้องการที่มีเพิ่มสูงขึ้น และนำเอาเทคนิคการคอมแพนเดอร์ของสัญญาณมาใช้ ทำให้สัญญาณรบกวนบนสัญญาณเสียงมีค่าน้อยลง คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT-900 จะแสดงในตารางที่ 1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ AMPS

รายละเอียด	ระบบ AMPS
ย่านความถี่ใช้ส่ง : จากสถานีฐาน	870-890 MHz
จากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่	825-845 MHz
ความกว้างของช่องสัญญาณ	30 KHz
จำนวนช่องสัญญาณ	832
รูปแบบการวางเซล	แบบ 4, 7 และ 12 เซล
การคอมแพนเดอร์ (compander)	2:1 (Syllabic)
การมอดูเลตสัญญาณเสียง	FM
การมอดูเลตสัญญาณควบคุม	FSK
อัตราการส่งข้อมูล	10 kbps.
ความจุของช่องสัญญาณควบคุม	77,000
การทำไดเวอร์ซิตี	ได้
รัศมีของเซล	2-20 km.

หมายเหตุ FSK - Frequency Shift Keying

แต่หลังจากนั้นระบบดิจิทัลได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้งานอย่างกว้างขวางในระบบโทรคมนาคม เนื่องจากสัญญาณดิจิทัลจะมีการสูญเสียของสัญญาณที่ต่ำ และให้คุณภาพของสัญญาณที่ดีกว่าสัญญาณอนาล็อก ซึ่งได้มีการพัฒนาระบบดิจิทัลเพื่อนำมาใช้งานในระบบโทรศัพท์ รวมทั้งระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วย ทำให้คุณภาพของสัญญาณเสียงโทรศัพท์มีคุณภาพเสียงที่ดีขึ้น และสามารถนำวิธีการแบ่งช่วงเวลา (TDMA - Time Division Multiple Access) หรือวิธีการแบ่งความถี่ (FDMA - Frequency Division Multiple Access) มาใช้ ทำให้สามารถที่จะรองรับช่องสัญญาณของโทรศัพท์ได้เพิ่มขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นการใช้ความถี่ที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ซึ่งในรูปที่ 1.1 ได้แสดงถึงหลักการของ FDMA และ TDMA จากช่องสัญญาณเดิม ทำให้สามารถเพิ่มจำนวนของช่องสัญญาณได้อีก แต่ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัลที่ใช้เทคนิคของ FDMA จำเป็นที่ต้องมียังจรรยาบรรณความถี่ที่มีคุณภาพ เนื่องจากช่องสัญญาณจะมีแบนด์วิดท์ที่แคบลง แต่ถ้าใช้ระบบ TDMA จะใช้การแบ่งเวลาในการส่งสัญญาณ ในช่องสัญญาณเดียวกัน ดังในรูปที่ 1.1.ข ดังนั้นในภาครับสัญญาณหรือภาคส่งสัญญาณ จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนักแต่จะต้องเพิ่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.3 คุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ TACS

รายละเอียด	ระบบ TACS
ย่านความถี่ใช้ส่ง : จากสถานีฐาน	935-960 MHz
จากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่	890-915 MHz
ความกว้างของช่องสัญญาณ	25 KHz
จำนวนช่องสัญญาณ	1320
รูปแบบการวางเซล	แบบ 4,7 และ 12 เซล
การคอมแพนเดอร์ (compander)	2:1 (Syllabic)
การมอดูเลตสัญญาณเสียง	FM
การมอดูเลตสัญญาณควบคุม	FSK
อัตราการส่งข้อมูล	8 kbps.
ความจุของช่องสัญญาณควบคุม	62,000
การทำไดเวอร์ซิตี	ได้
รัศมีของเซล	2-20 km.

กระบวนการในการทำให้สัญญาณกลับคืนเหมือนเดิม ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีของสารกึ่งตัวนำได้มีความก้าวหน้ามาก จึงทำให้เทคนิคของ TDMA สามารถกระทำได้ไม่ยุ่งยาก ดังนั้นในปัจจุบันจึงได้นำเทคนิคของ TDMA มาใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัลเป็นส่วนใหญ่

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัล ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาขึ้นมาหลายระบบเช่นเดียวกับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเดิมที่เป็นระบบอนาล็อก ซึ่งได้ถูกพัฒนาเพื่อให้ความเหมาะสมกับการใช้งานในแต่ละภูมิภาค ประเทศ อย่างเช่น ระบบ GSM (Group Special Mobile System) ที่ใช้ความถี่ในย่าน 900 MHz และระบบ PCN (Personal Communication Network) ที่ใช้ความถี่ในย่าน 1800 MHz เป็นต้น ซึ่งระบบทั้งสองได้เริ่มนำมาใช้งานแล้ว

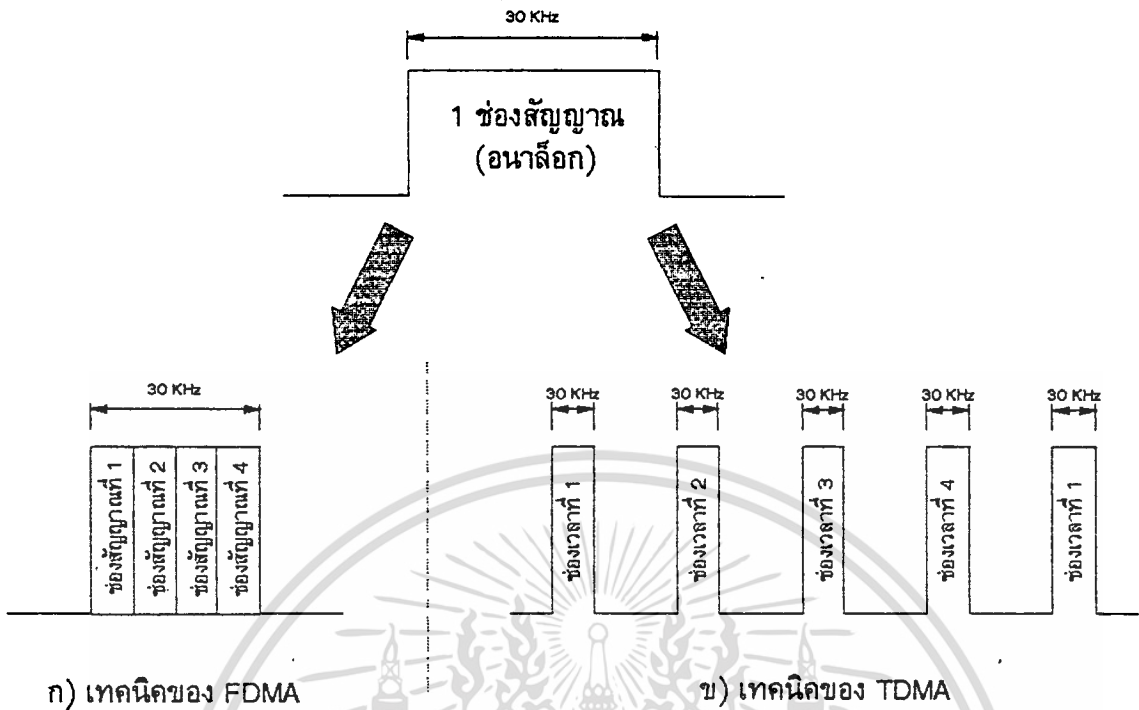
สำหรับการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทย ได้เริ่มนำมาใช้ในปี พศ. 2529 โดยองค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย(ทศท) ที่ดำเนินการตามโครงการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมขององค์การโทรศัพท์ พศ. 2527-2531 ในระยะแรกขึ้นเพื่อให้บริการโทรศัพท์มีประสิทธิภาพดีขึ้นครอบคลุมถึงผู้ใช้ในขณะเดินทางในรถยนต์ ที่สามารถใช้บริการโทรศัพท์ติดต่อกันได้โดยสัญญาณไม่ขาดหายและเพื่อเป็นการตอบสนองความต้องการใช้โทรศัพท์ที่เพิ่มขึ้นหมายเลขโทรศัพท์ของทศท. เองก็ไม่เพียงพอ หรือในบางพื้นที่ คู่สายโทรศัพท์ไม่สามารถเข้าไปถึงได้ ระบบโทรศัพท์

ตารางที่ 1.4 แสดงคุณสมบัติของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT-900

รายละเอียด	ระบบ
ย่านความถี่ใช้ส่ง : จากสถานีฐาน	935-959.975 MHz
จากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่	890-914.975 MHz
ความกว้างของช่องสัญญาณ	25 KHz
จำนวนช่องสัญญาณ	1,000
รูปแบบการวางเซล	แบบ 7,9 และ 12 เซล
การคอมแพนเดอร์ (comparer)	2:1 (Syllabic)
การมอดูเลตสัญญาณเสียง	FM
การมอดูเลตสัญญาณควบคุม	FFSK
อัตราการส่งข้อมูล	1.2 kbps.
ความจุของช่องสัญญาณควบคุม	13,000
การทำไดเวอร์ซิตี	ได้
รัศมีของเซล	2-25 km.

หมายเลขโทรศัพท์ของ ทศท. เองก็ไม่เพียงพอ หรือในบางพื้นที่คู่สายโทรศัพท์ไม่สามารถเข้าไปถึงได้ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบแรกที่ ทศท. ได้นำมาใช้ คือระบบ NMT-450 แต่เนื่องจากย่านความถี่ 450 MHz ถูกใช้งานอื่นอยู่แล้ว จึงได้เปลี่ยนย่านความถี่ไปใช้ที่ 470 MHz (ความถี่ 489-493.5 MHz ความถี่รับ 479-483.5 MHz ที่สถานีฐาน) ในระยะแรกได้เปิดให้บริการในเขตกรุงเทพฯ ปริมณฑล และจังหวัดในเขตชายฝั่งด้านตะวันออก และต่อมาจึงขยายบริการที่มีเป้าหมายให้บริการได้ทั่วประเทศ ในปี พศ. 2530 ทางกรมสื่อสารแห่งประเทศไทยได้นำเอาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ AMPS มาใช้ในประเทศไทย และต่อมาทาง กสท. ได้ว่าจ้างให้บริษัท TACS (Total Access Communication System) ทำการให้บริการเพิ่มในระบบ AMPS System B ที่จากเดิม กสท. ให้บริการใน System A โดยใช้ชื่อว่า ระบบเวิลด์โฟน (Worldphone) และในปี พศ. 2533 ทาง ทศท. ได้ให้สัมปทานแก่บริษัทแควความซอินโฟร์เซอร์วิส จำกัด ในการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ NMT-900 ดังนั้นโครงข่ายของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทยสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 1.2 และในปัจจุบันได้เริ่มมีการนำเอาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิตอลมาใช้แล้ว โดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ดิจิตอลระบบ GSM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



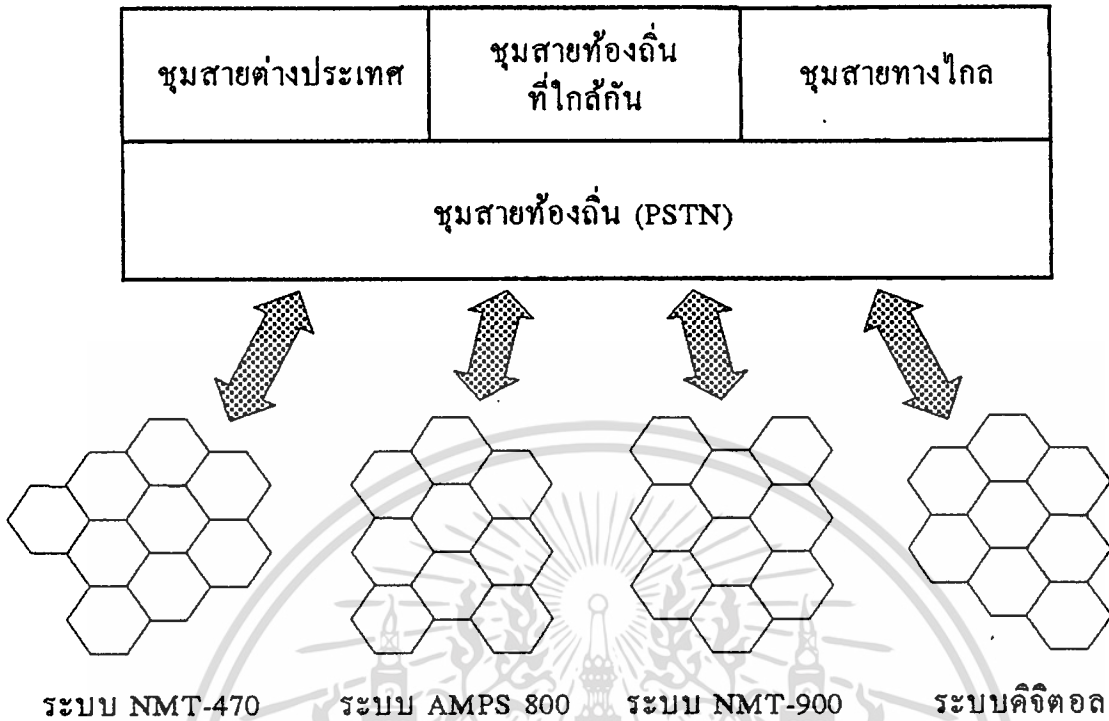
รูปที่ 1.1 แสดงการใช้เทคนิคของ FDMA และ TDMA ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัล เมื่อเทียบกับช่องสัญญาณแบบอนาล็อก

1.2 ขอบเขตของการวิจัยและเหตุจูงใจ

ในปัจจุบันระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ดังจะเห็นได้จากจำนวนของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่มีเพิ่มขึ้นมากทุกปี ซึ่งอาจจะเพิ่มจนถึงจุด ๆ หนึ่งที่ขีดความสามารถของระบบจะรองรับได้ จะทำให้เกิดปัญหาในการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ จึงต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาขีดความสามารถของระบบให้สูงขึ้น พอเพียงที่จะรองรับสภาพทราฟฟิกในการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันและอนาคต ดังนั้นการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการปรับปรุงและพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

ในการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่สิ่งที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้บ่อย ๆ ก็คือ มีการรบกวนของสัญญาณ สัญญาณเสียงอื่น ๆ แทรกเข้ามา เกิดสัญญาณขาดหายไปบางช่วงในขณะที่สนทนาอยู่หรือไม่สามารถโทรออกได้เนื่องจากช่องสัญญาณไม่ว่าง ซึ่งสาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากจำนวนของผู้ใช้โทรศัพท์มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในบางช่วงเวลา ในบางสถานที่ เช่น ช่วงเวลาธุรกิจในเขตพื้นที่ธุรกิจ ช่วงวันหยุดสุดสัปดาห์ ในพื้นที่ของห้างสรรพสินค้า เป็นต้น เป็นเหตุทำให้ช่องสัญญาณที่มีอยู่ในพื้นที่นั้น ๆ ไม่เพียงพอ จึงต้องมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ให้สามารถรองรับสภาพ

ทราฟฟิกที่เพิ่มขึ้นได้ ซึ่งจะมีอยู่หลายวิธีที่จะกล่าวถึงในวิทยานิพนธ์นี้ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นการค้า ไม่ว่าจะเป็นวิธีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 แสดงโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในประเทศไทย

2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ การปรับปรุงเปลี่ยนทางด้านสวิตชิงของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงทางด้านฮาร์ดแวร์มากนัก และอีกส่วนหนึ่งคือ การปรับปรุงเปลี่ยนแปลงทางด้านสถานี ฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยอาจจะมีการติดตั้งสถานีฐานเพิ่มขึ้นในบริเวณที่มีสภาพทราฟฟิกสูง ซึ่งการติดตั้งสถานีฐานเพิ่มขึ้นนี้ จะมีผลกระทบกับสถานีฐานเดิมที่มีอยู่จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลง สถานีฐานเดิมที่อยู่ใกล้เคียงให้มีความเหมาะสมกับสถานีฐานที่เพิ่มขึ้นมา ส่วนอีกสาเหตุหนึ่งของ ปัญหาข้างต้นก็คือ การเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมในบริเวณนั้น เช่น จำนวนของสิ่งก่อสร้างที่ เพิ่มขึ้น เป็นต้น ที่จะมีผลกระทบกับการแพร่กระจายคลื่นของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้สัญญาณขาด หายในบางพื้นที่ภายในเซลล์ (เซล คือ พื้นที่บริการของโทรศัพท์เคลื่อนที่จากสถานีฐานหนึ่งสถานี)

ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอ หลักการออกแบบและวิธีการเลือกตำแหน่งของเซลล์ในระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลูล่า เพื่อใช้ในการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงเซลล์หรือติดตั้งสถานีฐานใหม่ให้ สามารถครอบคลุมพื้นที่บริการได้อย่างเหมาะสม โดยจะทำให้ขอบเขตของเซลล์ต่างๆ สามารถเชื่อม ต่อกันได้พอเหมาะ ไม่เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์หรือเหลื่อมล้ำเข้าไปในเซลล์อื่นๆ มากเกินไป สิ่ง ที่สำคัญในการออกแบบและวิธีการเลือกตำแหน่งของเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลูล่าก็คือ จะต้องทำการหาขนาดของเซลล์และขอบเขตการให้บริการของเซลล์ที่ได้จากสถานีฐานหนึ่ง ๆ หลังจาก

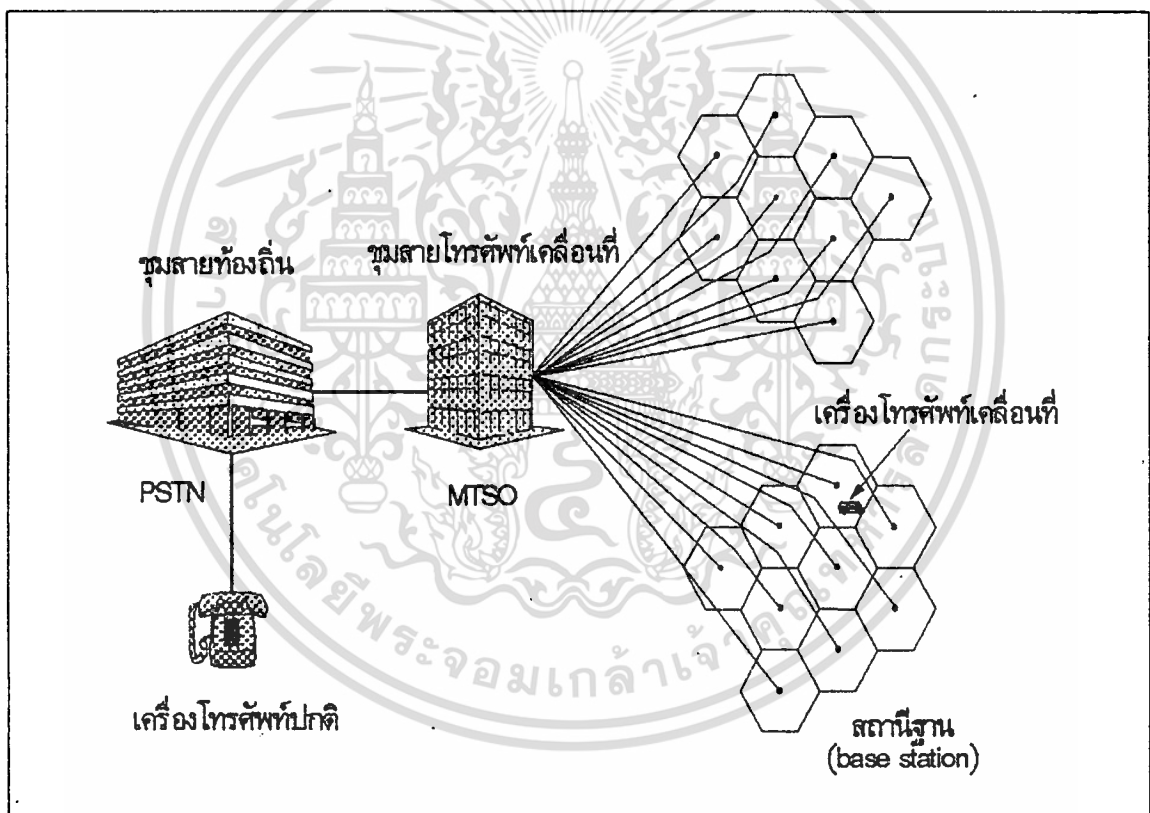
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้บนอินเทอร์เน็ต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นจึงนำมาพิจารณาร่วมกับเซลล์ข้างเคียงที่มีอยู่แล้ว โดยการคำนวณจากสภาพกราฟฟิเคชันการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่และระดับของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ ซึ่งการจะทำให้ขอบเขตของเซลล์ไซต์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับการใช้งานจริงนั้นจะขึ้นอยู่กับการใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในการคำนวณ เช่น ความสูงของสายอากาศรับและส่งของสถานีฐาน และเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ แพทเทิร์นของสายอากาศ เกนของสายอากาศ ความสูงของสิ่งก่อสร้างต่างๆ ระดับความสูง-ต่ำของพื้นโลก ฯลฯ และสร้างซอฟต์แวร์ในการออกแบบตำแหน่งและขอบเขตของเซลล์ไซต์โดยเทียบกับแผนที่ทางภูมิศาสตร์ทำให้สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขขนาดและตำแหน่งของเซลล์ไซต์ได้สะดวก โดยการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐานที่ใช้ในการคำนวณของซอฟต์แวร์ และผลของซอฟต์แวร์จะสามารถพิมพ์ลงบนแผนที่ทางภูมิศาสตร์ได้อีกด้วย ซึ่งจะ เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการแก้ไขและติดตั้งสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ก่อนที่จะมีการติดตั้งหรือเปลี่ยนแปลงสถานีฐานในระบบ และหลักการออกแบบนี้สามารถที่จะนำมาใช้ประยุกต์กับการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัลที่จะถูกนำเข้ามาใช้งานต่อไปในอนาคต โดยการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์บางส่วนที่ใช้ ในส่วนท้ายได้มีการทดลองสร้างสถานีฐานจำลองของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ ในระบบ AMPS 800 เปรียบเทียบกับผลของการออกแบบสถานีฐานของระบบโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์นี้ ซึ่งผลของระดับสัญญาณที่ได้จะมีความแตกต่างกันบางจุดซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์

ระบบโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์ที่มีใช้ในปัจจุบัน จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่(MTSO) สถานีฐานหรือเซลไซต์(CS) และเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่(MS) โดยจะมีการเชื่อมโยงกับระบบโทรศัพท์ท้องถิ่น(PSTN)ด้วย ซึ่งจะทำให้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถติดต่อกับโทรศัพท์ธรรมดาได้ ลักษณะของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์เบื้องต้นจะแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์

2.1 โครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์

จากในรูปที่ 2.1 เป็นโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ที่ประกอบด้วย

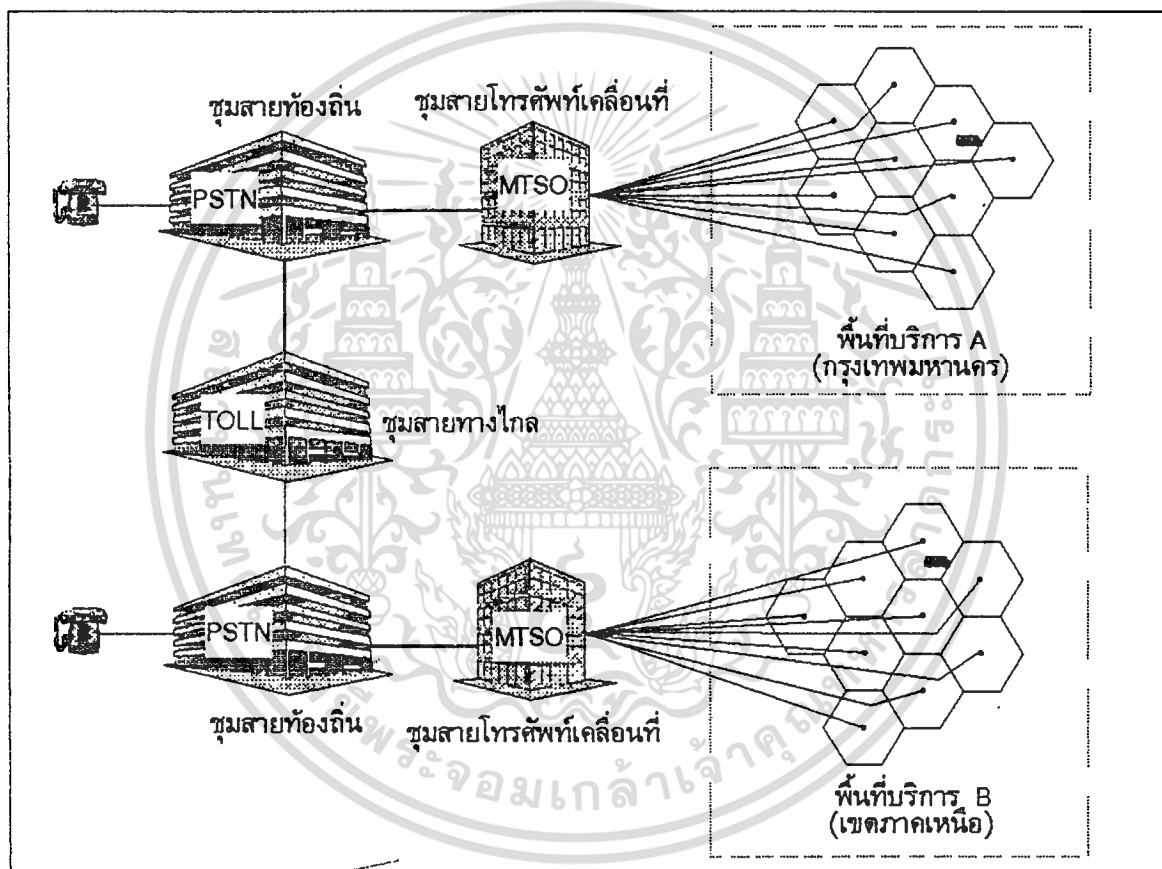
1. ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (MTSO-Mobile Telephone Switching Office)
2. สถานีฐาน (Base station) หรือ เซลไซต์ (Cell Site)
3. เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (MS-Mobile Station)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นส่วนสำคัญที่สุดในโครงข่าย โดยมีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดของโครงข่าย และเป็นสวิตซ์ในการเชื่อมโยงระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโทรศัพท์ธรรมดาของชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่น (PSTN-Public Switching Telephone Network) รวมทั้งเชื่อมโยงระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยกัน หน้าที่อีกอย่างหนึ่งก็คือ ควบคุมการทำงานของเซลล์ไซต์ ซึ่งการติดต่อสื่อสารระหว่างเซลล์ไซต์กับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะมีทั้งสัญญาณเสียงและสัญญาณข้อมูล



รูปที่ 2.2 แสดงโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในพื้นที่ห่างกัน

ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเป็นส่วนที่ใช้ในการแบ่งขอบเขตของพื้นที่การให้บริการอีกด้วย อย่างเช่น ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ A จะควบคุมพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ B จะควบคุมพื้นที่ในเขตภาคเหนือ เป็นต้น เนื่องจากพื้นที่การบริการทั้งสองเขตอยู่ห่างกัน จึงไม่สามารถที่จะใช้ชุมสายโทรศัพท์เดียวในการควบคุมเซลล์ไซต์ทั้ง 2 เขตได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ดังนั้นเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนตัวไปยังอีกเขตพื้นที่หนึ่งจะเกิดขบวนการหนึ่งๆที่เรียกว่า การโรมมิ่ง (Roaming)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

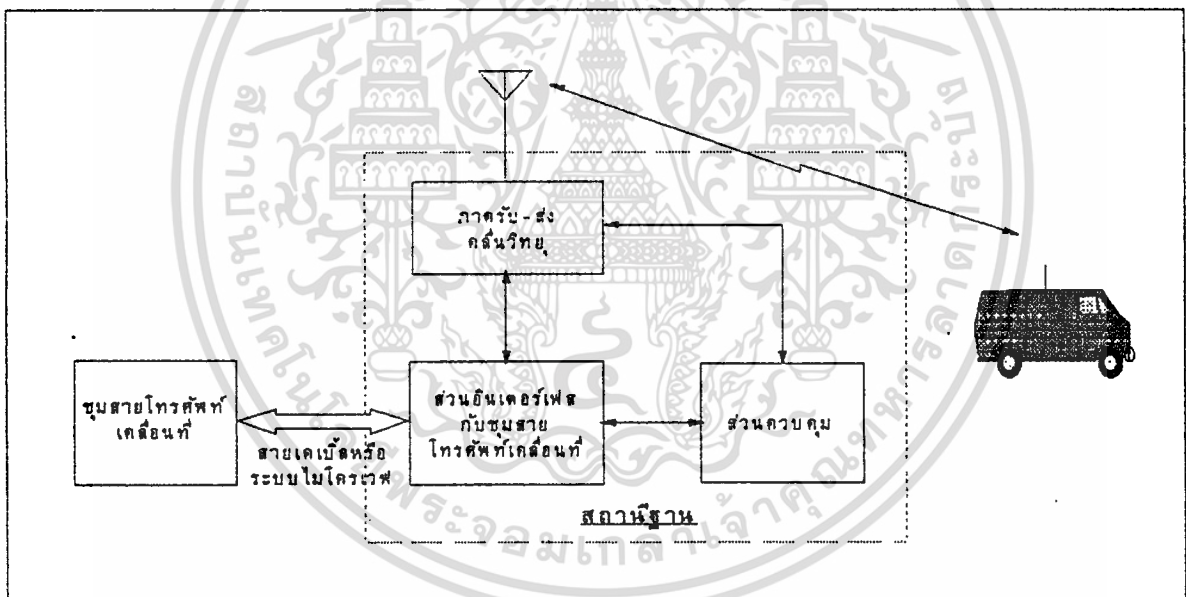
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันการทำงานของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะมีหลายอย่าง เช่น การค้นหาเครื่องโทรศัพท์ (Paging) การแฮนด์ออฟ (Hand-off) การตรวจสอบสภาวะการยกหู-วางหู การสแกนช่องสัญญาณ ฯลฯ

2.1.2 สถานีฐานหรือเซลไซต์

สถานีฐานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยส่วนที่ติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะใช้การรับ-ส่งสัญญาณทางคลื่นวิทยุ เพื่อให้บริการในกรณีที่มีการเรียกเข้าหรือการเรียกจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ ส่วนการเชื่อมโยงกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะใช้การติดต่อผ่านทางคู่สาย ซึ่งจะมีทั้งสัญญาณเสียงและสัญญาณควบคุม

สถานีฐานจะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนของการรับ-ส่งคลื่นวิทยุ ส่วนควบคุม และส่วนอินเตอร์เฟซกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของสถานีฐาน

ส่วนของการรับ-ส่งคลื่นวิทยุ ก็คือ เครื่องรับ เครื่องส่ง และสายอากาศ ส่วนควบคุมจะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ที่ทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงาน มอนิเตอร์ระดับของสัญญาณเพื่อใช้ในการแฮนด์ออฟ การดูแลตรวจตราการเรียก (Supervision of Calls) เป็นต้น และส่วนอินเตอร์เฟซกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่จะทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงสัญญาณเสียง และสัญญาณข้อมูล ระหว่างสถานีฐานกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยผ่านทางสายเคเบิล หรือระบบไมโครเวฟ ลักษณะโครงสร้างของสถานีฐานและการเชื่อมโยงในโครงข่าย สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเป็นส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงกับผู้ใช้ ซึ่งจะมีการใช้งานที่คล้ายกับโทรศัพท์ธรรมดา แต่จะแตกต่างกันที่รวมฟังก์ชันของโทรศัพท์กับฟังก์ชันการรับ-ส่งคลื่นวิทยุเข้าด้วยกัน ทำให้เครื่องโทรศัพท์ไม่จำเป็นต้องใช้การติดต่อผ่านทางคู่สายเหมือนโทรศัพท์ธรรมดา การติดต่อของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเป็นแบบ ฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) โดยในแต่ละช่องสัญญาณจะถูกแบ่งการใช้งานที่ 2 ความถี่ โดยที่ความถี่หนึ่งจะใช้ในการส่งไปยังสถานีฐาน และอีกความถี่จะใช้ในการรับสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีฐาน และมีกำลังที่ไม่สูงมากนัก ซึ่งมีตั้งแต่ 0.6-10 วัตต์ ตามขนาดของการใช้งานเช่น เครื่องโทรศัพท์แบบติดตั้งในรถยนต์ แบบหัวถือ หรือแบบมือถือ ซึ่งมีขนาดเล็กมาก เป็นต้น การส่งสัญญาณจะมีการส่งทั้งสัญญาณเสียงพูดและสัญญาณข้อมูล โดยสัญญาณเสียงจะถูกมอดูเลทในแบบ FM(Frequency Modulation) ส่วนสัญญาณข้อมูลจะมีการมอดูเลทในแบบ FSK(Frequency Shift Keying) สัญญาณข้อมูลนี้จะถูกส่งไปให้ไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ อย่างเช่น ควบคุมการร้องขอการเรียก (Origination Request) การบันทึกพื้นที่บริการที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้อยู่ ใช้ในการกำหนดช่องสัญญาณที่ใช้ในการติดต่อข้อความคำสั่งในการแฮนด์ออฟที่ส่งมาจากชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ฯลฯ

2.2 การให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า

การให้บริการของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าจะมีขั้นตอนการทำงานที่ยุ่งยากกว่าระบบโทรศัพท์ธรรมดา ซึ่งจะต้องมีการติดต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน โดยมีการส่งข้อมูลในการควบคุมของการเรียก เกิดขึ้นทั้งบนช่องสัญญาณเสียงและช่องสัญญาณควบคุม ขั้นตอนในการเรียกที่เกิดขึ้นกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะสามารถแบ่งเป็น 2 ลักษณะดังนี้

1. การเรียกจากภายนอกไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Call to Mobile)
2. การเรียกจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile originating call)

การทำงานของกรเรียกทั้ง 2 แบบนี้จะสามารถกล่าวได้ดังนี้

2.2.1 การเรียกจากภายนอกไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Call to Mobile)

เมื่อเครื่องโทรศัพท์ธรรมดาต้องการติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะเริ่มจากหมายเลขของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทางชุมสายท้องถิ่นจะทำการสวิตช์ไปยังชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (MTSO) ดังในรูปที่ 2.4(ก) หลังจากนั้นชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการค้นหาโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการติดต่อดังในรูปที่ 2.4(ข) โดยการส่งสัญญาณเพจจิง(Paging) ซึ่งจะเป็นการส่งแบบบรอดคาส (Broadcast) ไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ทุกเครื่องที่อยู่ในพื้นที่บริการทั้งหมด แต่ละเครื่องก็จะทำการตรวจสอบว่าหมายเลขที่ส่งมาตรงกับหมายเลขของตนเองหรือไม่ ซึ่งจะมีอยู่เพียงเครื่องเดียวที่มีหมายเลขตรงกัน เมื่อตรงกับหมายเลขของตนเอง เครื่องโทรศัพท์ก็จะทำการตอบรับกลับไปยังชุมสาย ผ่านทางสถานีฐานที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้บริการอยู่ ดังในรูปที่ 2.4(ค) ชุมสาย MTSO ก็จะทำการกำหนดช่องสัญญาณเสียงที่เหมาะสมให้กับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ผู้ใช้(เครื่อง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

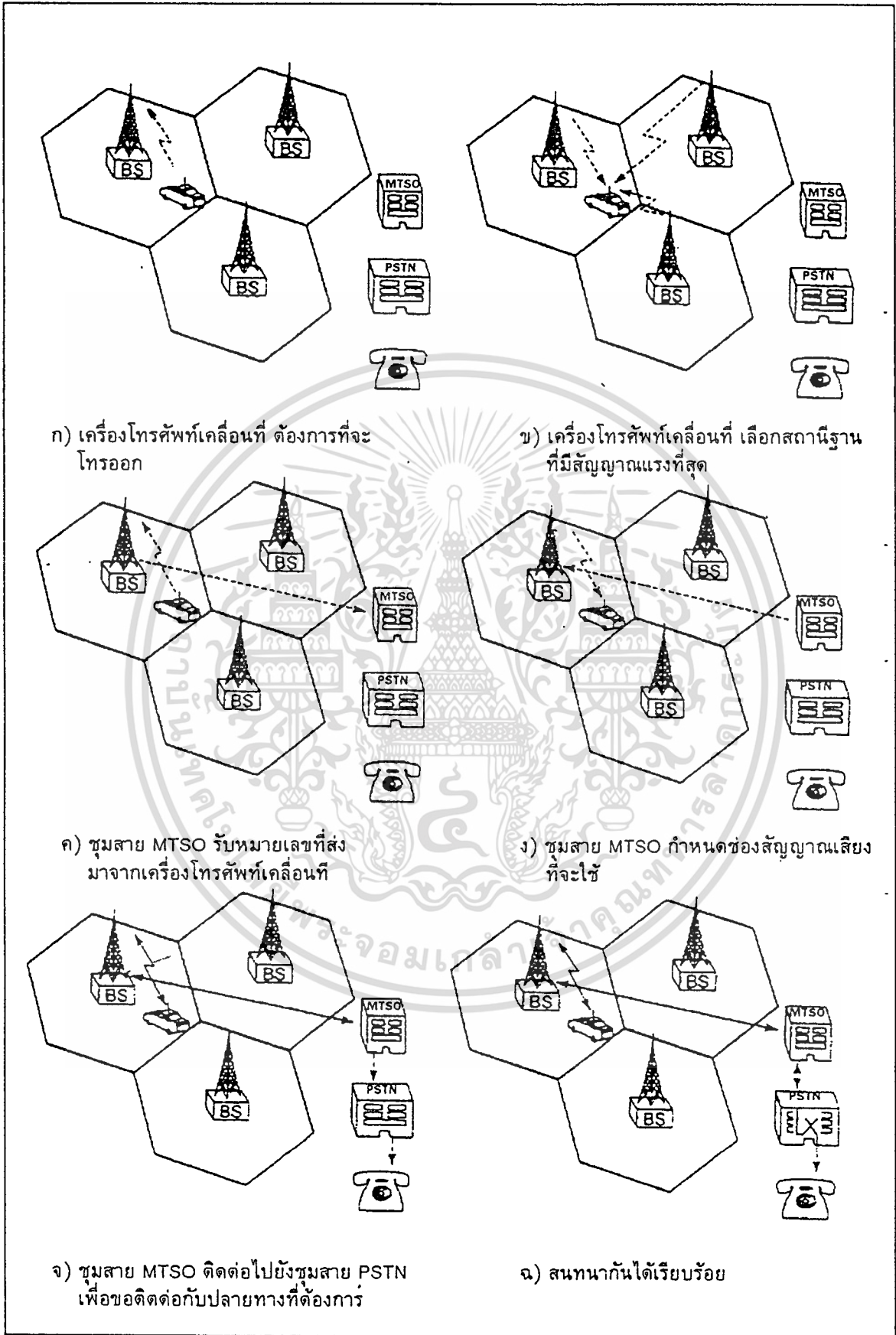
โทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละเครื่อง ไม่จำเป็นจะต้องใช้ช่องสัญญาณใดช่องสัญญาณหนึ่งโดยเฉพาะ) ดังในรูปที่ 2.4(ง) หลังจากนั้นเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะทำการปรับความถี่ไปยังช่องสัญญาณที่กำหนด แสดงว่าเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่พร้อมแล้ว ชุมสาย MTSO ก็จะส่งสัญญาณกระดิ่งไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อให้ผู้ใช้ได้ทราบว่ามีคนโทรเข้ามา ดังในรูปที่ 2.4(จ) เมื่อผู้ใช้ยกหูโทรศัพท์ ก็จะทำการเชื่อมโยงสัญญาณเสียงเข้ากับชุมสาย PSTN ที่เชื่อมต่อกับปลายทางของผู้เรียก ดังนั้นจึงสามารถที่จะสนทนากันได้ ดังในรูปที่ 2.4 (ฉ)

2.2.2 การเรียกจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile-originating Call)

เมื่อผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการโทรออกไปยังโทรศัพท์อื่น ๆ โดยที่ขณะนั้นเครื่องโทรศัพท์จะตั้งอยู่ในสภาวะที่ว่าง คือ เข้าสู่ระบบแล้วและอยู่ในสภาวะเตรียมพร้อมอยู่ ผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ จะทำการป้อนหมายเลขของโทรศัพท์ปลายทางที่ต้องการติดต่อ และเมื่อผู้ใช้ยกหูโทรศัพท์ (โดยกดปุ่ม "Send") การเรียกจะเริ่มขึ้นโดยการที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะทำการสแกนหาช่องสัญญาณควบคุมที่มีระดับสัญญาณแรงที่สุดจากสถานีฐานต่าง เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลในการร้องขอการเรียกผ่านไปยังชุมสาย MTSO ดังในรูปที่ 2.5(ข) และตรวจสอบว่างช่องสัญญาณควบคุมนั้นว่างหรือไม่ว่าง ถ้าช่องสัญญาณควบคุมนั้นว่าง เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะทำการส่งหมายเลขปลายทางที่ต้องการติดต่อและหมายเลขประจำเครื่องไปยังชุมสาย MTSO ดังในรูปที่ 2.5(ค) หลังจากที่ชุมสาย MTSO ตรวจสอบหมายเลขประจำเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกต้องแล้ว จะทำการเลือกช่องสัญญาณเสียงที่เหมาะสมให้กับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับคำสั่ง ก็จะทำการปรับไปยังช่องสัญญาณที่กำหนดดังในรูปที่ 2.5(ง) เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะทำการตอบรับกลับไปยังสถานีฐาน เพื่อเป็นการยืนยันการเชื่อมโยงทางช่องสัญญาณเสียงสำเร็จแล้วทางชุมสาย MTSO ก็จะทำการส่งหมายเลขโทรศัพท์ที่ต้องการติดต่อไปยังชุมสาย PSTN ดังในรูปที่ 2.5(จ) เพื่อส่งสัญญาณไปยังปลายทางที่ต้องการติดต่อด้วย เมื่อผู้ใช้ปลายทางตอบรับการเรียก ก็จะเชื่อมต่อสัญญาณเสียงเข้ากับชุมสาย MTSO จึงสามารถสนทนากันได้ ดังในรูปที่ 2.5(ฉ) ในช่วงของการสนทนานี้ จะมีการตรวจตราการเรียกอยู่ตลอดเวลา ซึ่งอาจจะต้องมีกระบวนการเปลี่ยนเซลเกิดขึ้นได้ เมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่ไปยังเซลอื่น ที่อยู่ข้างเคียง

2.3 พื้นที่การให้บริการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า

การให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าที่มีประสิทธิภาพ ควรจะคำนึงถึงขอบเขตของพื้นที่การให้บริการของระบบ ซึ่งควรจะสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้าง และสามารถใช้งานโทรศัพท์ได้อย่างมีคุณภาพ โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น การสอดแทรกของสัญญาณเสียงจากช่องสัญญาณอื่น ๆ การขาดหายของสัญญาณในบางขณะซึ่งอาจจะทำให้ไม่สามารถโทรออกได้หรือโทรอยู่แล้วสายหลุด และปัญหาการที่ไม่สามารถโทรออกได้เนื่องจากช่องสัญญาณไม่เพียงพอ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ส่วนหนึ่งเกิดจากการจัดเซลไม่เหมาะสม เพราะในระบบเซลลูล่าจะมีการวางเซลต่างๆ หลายเซลในลักษณะที่คล้ายรวงผึ้ง เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่บริการได้กว้างขึ้นและสามารถขยายพื้นที่บริการได้โดยการเพิ่มเซลให้มีขอบเขตต่อเนื่องจากเซลเดิม ซึ่งช่วงรอยต่อระหว่างเซลไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 2.5 กระบวนการเรียกจากเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจจะเกิดปัญหาของการเกิดช่องว่างระหว่างเซลล์หรือการเหลื่อมล้ำของเซลล์มากเกินไปได้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่มีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น ระดับความสูงของพื้นดิน ระดับความสูงของสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น หรืออีกเหตุผลหนึ่งก็คือ การเพิ่มขึ้นของทราฟฟิก การใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้บางเซลล์มีจำนวนการใช้โทรศัพท์ที่สูงจนช่องสัญญาณที่มีอยู่ไม่เพียงพอ จึงทำให้เกิดปัญหาการบล็อกขึ้น คือ ไม่สามารถโทรออกได้ ซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงการจัดเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ใหม่

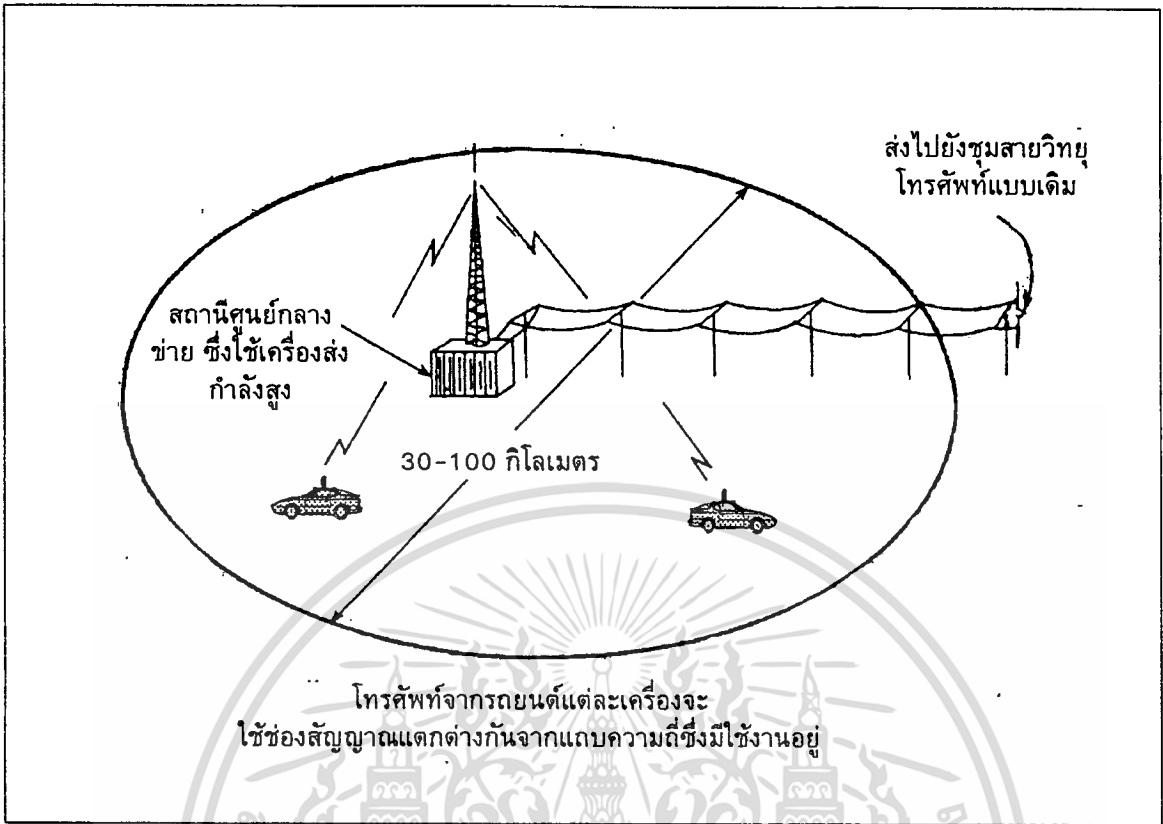
2.3.1 เซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลู่อ่า

จากการใช้งานของระบบวิทยุโทรศัพท์เดิมนั้นจะมีขนาดของเซลล์ที่ใหญ่ ดังในรูปที่ 2.6 โดยมีจำนวนช่องสัญญาณคงที่ เนื่องจากถูกจำกัดด้วยแถบความถี่ที่นำมาใช้ จึงทำให้เกิดปัญหาเมื่อจำนวนของผู้ใช้บริการมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่ปริมาณของช่องสัญญาณถูกจำกัด อัตราส่วนจำนวนช่องสัญญาณต่อผู้ใช้บริการจะมีค่าต่ำลงเรื่อยๆ ซึ่งเมื่อถึงค่าหนึ่งปริมาณผู้ใช้บริการจะถูกจำกัดเพราะถ้ามากกว่านี้ การใช้บริการจะเกิดการบล็อกมากเกินไป ลักษณะเช่นนี้ของระบบเดิมเป็นการใช้ความถี่อย่างไม่มีประสิทธิภาพ ปัญหาที่เกิดขึ้นอีกอย่างหนึ่งก็คือ เมื่อต้องการขยายพื้นที่การให้บริการ จะต้องเพิ่มกำลังส่งให้ทั้งสถานีฐานของโครงข่ายและที่ตัวเครื่องโทรศัพท์ให้สูงขึ้นอีก ทั้งยังต้องหาที่ตั้งของสถานีไว้ในที่สูงมากเพื่อเป็นผลดีต่อการแพร่กระจายคลื่นด้วย เมื่อเพิ่มกำลังส่งสูง ๆ ตัวเครื่องโทรศัพท์จะมีขนาดใหญ่ตามไปด้วย ซึ่งขัดต่อจุดประสงค์ในการที่จะพัฒนาให้มีขนาดเล็กลง

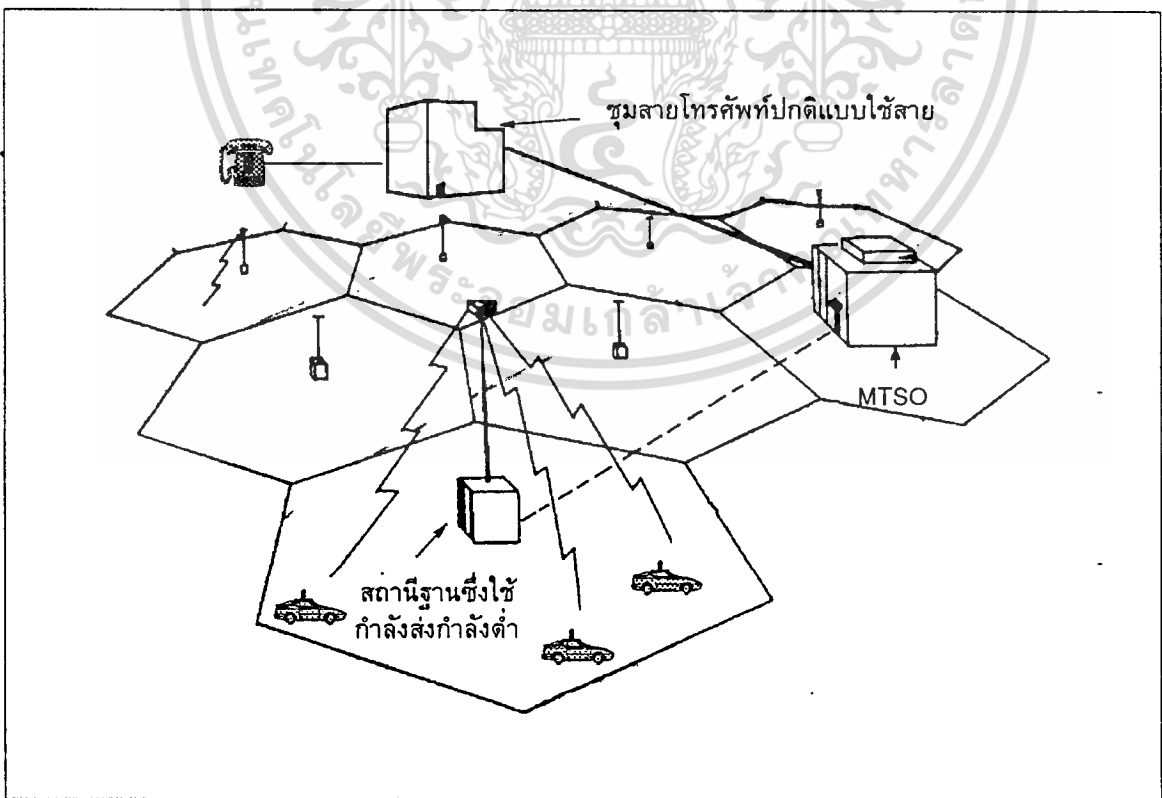
แต่ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลู่อ่า นั้น จะทำการติดตั้งสถานีฐานที่มีเครื่องรับ-ส่งกำลังต่ำหลาย ๆ ชุด กระจายออกไปในพื้นที่ให้บริการต่าง ๆ ดังในรูปที่ 2.7 พื้นที่เล็ก ๆ ที่สถานีฐานส่งสัญญาณครอบคลุมได้ จะเรียกว่า เซลล์ (Cell) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5-20 กิโลเมตร (ในขณะที่ระบบเดิมมีขนาดประมาณ 30-100 กิโลเมตร) สำหรับเครื่องโทรศัพท์ก็จะมีกำลังส่งที่ต่ำลงจากเดิม ที่มีขนาดประมาณ 25 วัตต์ เหลือเพียง 0.6-3.0 วัตต์ ทำให้ตัวเครื่องมีขนาดเล็กลง สิ่งสำคัญในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลู่อ่าที่สามารถแก้ปัญหาจำนวนของช่องสัญญาณในระบบเดิมที่มีอยู่จำกัดได้โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า เทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้งาน (Frequency Reuse)

แนวความคิดของเทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้งาน กล่าวไว้ว่า “จะแบ่งแถบความถี่ที่มีอยู่ออกเป็นช่องสัญญาณ คัดเลือกช่องสัญญาณที่แบ่งนั้นออกเป็นกลุ่มความถี่ บรรจุกลุ่มความถี่ลงในแต่ละเซลล์ในกลุ่มความถี่นั้น ๆ อยู่ในความรับผิดชอบของแต่ละเซลล์จัดวางเซลล์โดยให้เซลล์ที่อยู่ติดกันไม่ใช้กลุ่มความถี่เดียวกัน เมื่อเครื่องโทรศัพท์อยู่ในเซลล์ใดก็จะเลือกช่องสัญญาณใช้งานจากกลุ่มความถี่ซึ่งเซลล์นั้นรับผิดชอบอยู่ ลักษณะเช่นนี้สามารถนำกลุ่มความถี่หนึ่ง ๆ ใช้งานซ้ำ ๆ กันในเซลล์ต่าง ๆ ที่ไม่ประชิดติดกันได้ ซึ่งก็คือการใช้แถบความถี่ที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพได้สูงสุด” ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.8 จากความถี่ที่ใช้งานเมื่อเราแบ่งความถี่ออกเป็น 4 กลุ่ม โดยจะได้ช่องสัญญาณ คือ A1, B1, C1, D1, A2, B2, C2, D2, A3, ..., An, Bn, Cn, Dn เมื่อแยกเป็นช่องสัญญาณแล้วจะได้กลุ่มความถี่ต่าง ๆ คือ กลุ่ม A ได้แก่ A1, A2, A3, ..., An กลุ่มอื่น ๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

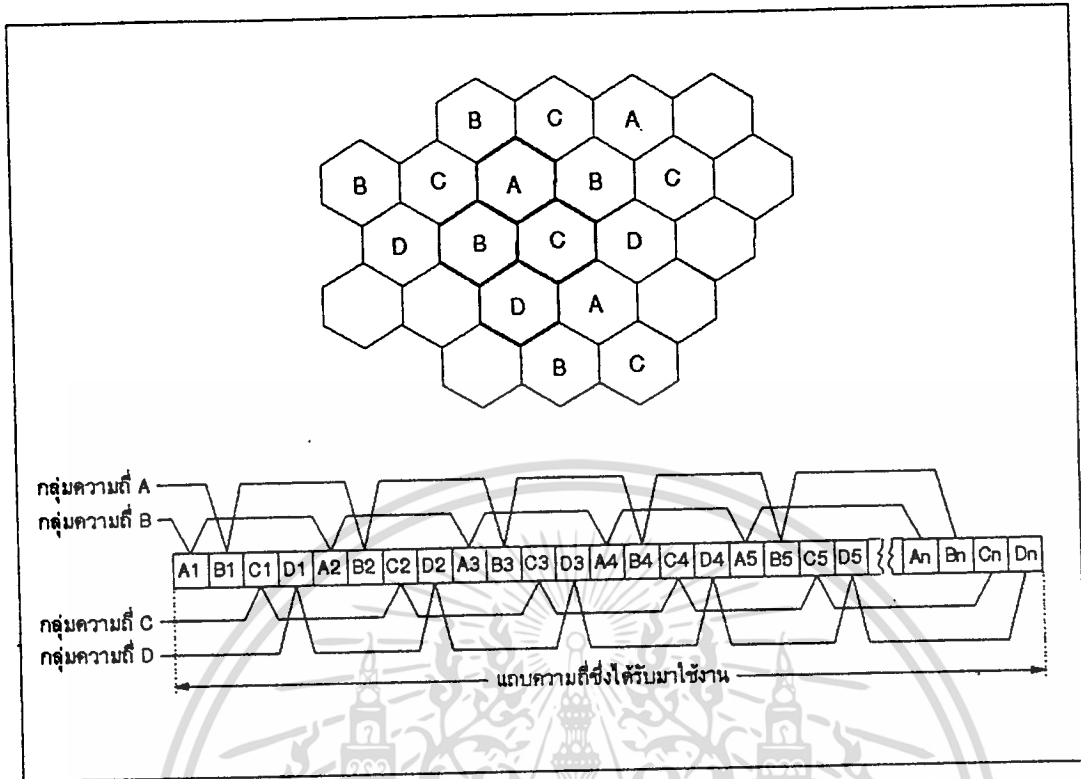


รูปที่ 2.6 แสดงพื้นที่ให้บริการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเดิม



รูปที่ 2.7 แสดงพื้นที่ให้บริการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



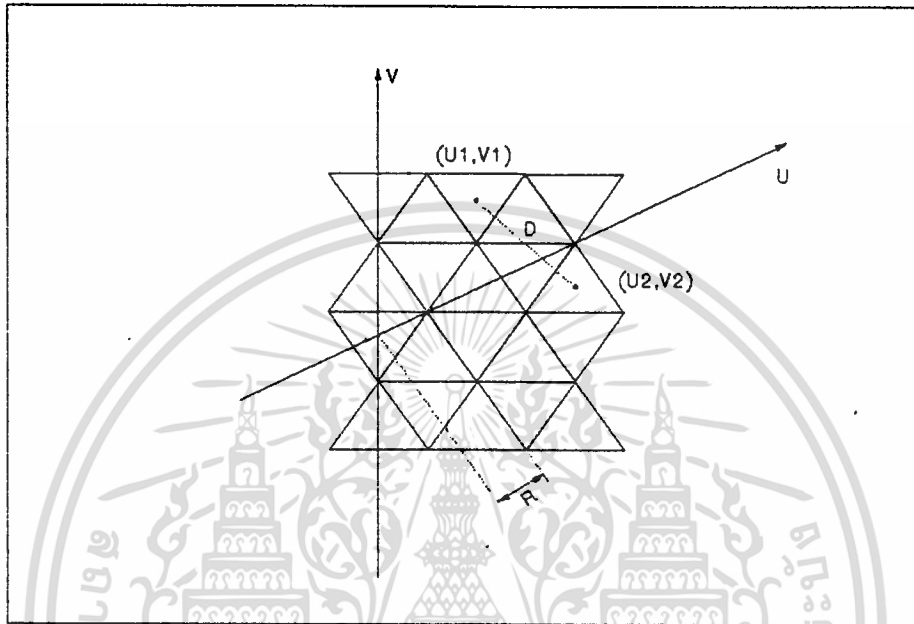
รูปที่ 2.8 แนวความคิดของเทคนิคการนำความถี่กลับมาใช้งาน (Frequency Reuse)

ก็เช่นกันจะได้เป็นกลุ่มความถี่ B, C และ D จากในรูปจะเห็นว่าช่องสัญญาณในแต่ละกลุ่มจะไม่อยู่ติดกัน การที่จะต้องจัดกลุ่มความถี่แบบนี้ก็เพื่อให้ช่องสัญญาณในกลุ่มเดียวกันมีช่วงห่างกันพอสมควรสำหรับการสร้างวงจรความถี่แยกช่องสัญญาณ และลดการรบกวนที่แทรกสอดระหว่างช่องสัญญาณ กลุ่มของความถี่ A, B, C และ D เราเรียกว่า รูปแบบการนำความถี่กลับมาใช้งาน เมื่อนำกลุ่มความถี่ไปใช้ในแต่ละเซลล์ จะได้รูปแบบของเซลล์ และเมื่อนำรูปแบบของเซลล์เหล่านี้มาต่อเข้าด้วยกันแผ่ขยายออกไป ก็จะได้พื้นที่บริการของระบบเซลล์ลูล่า จากตัวอย่างที่เสนอเป็นรูปแบบ 4 เซลล์ แต่ที่ใช้กันโดยทั่วไปจะมีอีกหลายรูปแบบ เช่น 2 เซลล์ 4 เซลล์ 7 เซลล์ 9 เซลล์ 12 เซลล์ และ 24 เซลล์ เป็นต้น รูปแบบของเซลล์ที่จำนวนเซลล์น้อยจะทำให้มีช่องสัญญาณต่อเซลล์มากขึ้น ซึ่งหมายถึงสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละเซลล์ได้มากขึ้นด้วย เช่น ในระบบ AMPS จะมีช่องสัญญาณทั้งหมด 832 ช่องสัญญาณ เมื่อใช้แบบ 4 เซลล์จะได้ 208 ช่องสัญญาณต่อเซลล์ หรือแบบ 7 เซลล์จะได้ 118 ช่องสัญญาณต่อเซลล์ เป็นต้น แต่การใช้รูปแบบของเซลล์ที่น้อยก็จะทำให้ระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้กลุ่มความถี่เดียวกันมีค่าน้อยลงด้วย ซึ่งจะเกิดปัญหาการแทรกสอดช่องสัญญาณเดียวกันขึ้นได้

2.3.2 รูปแบบของเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลูล่า

ในระบบเซลล์ลูล่าจะใช้วิธีการวางเซลล์ต่างๆแผ่ขยายออกเป็นพื้นที่ให้บริการ ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาจัดวางเซลล์ในลักษณะต่างๆให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ถ้ากำหนดให้พื้นที่บริการทั้งหมดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส จะใช้เซลล์รูปหกเหลี่ยมได้มากที่สุด โดยจะเรียงกันเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เป็นลักษณะราบเรียบ สิ่งก่อสร้างรอบๆเซลล์เป็นรูปแบบที่เหมือนกันหมด จะทำให้ได้ลักษณะของ เซลล์วงกลม(Omnidirection Cell) รูปแบบของการจัดวางเซลล์จะสามารถจัดได้เป็นรูปแบบ ต่างๆได้ คือ รูปแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า (Trigangle) รูปแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square) และ รูปแบบหกเหลี่ยมด้านเท่า (Hexagonal)



รูปที่ 2.9 การวางเซลล์ในแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า

การจัดวางเซลล์ในลักษณะของสามเหลี่ยมด้านเท่า จะสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.9 ซึ่ง สามารถแบ่งออกเป็น 2 แกน โดยทั้งสองแกนจะทำมุมกัน 60° ซึ่งก็คือ แกน u และแกน y โดยให้ รัศมีของเซลล์มีค่าเท่ากับ R ตามแนวแกน U จากในรูประยะทางระหว่างจุด (u_1, v_1) กับ (u_2, v_2) จะได้เป็น

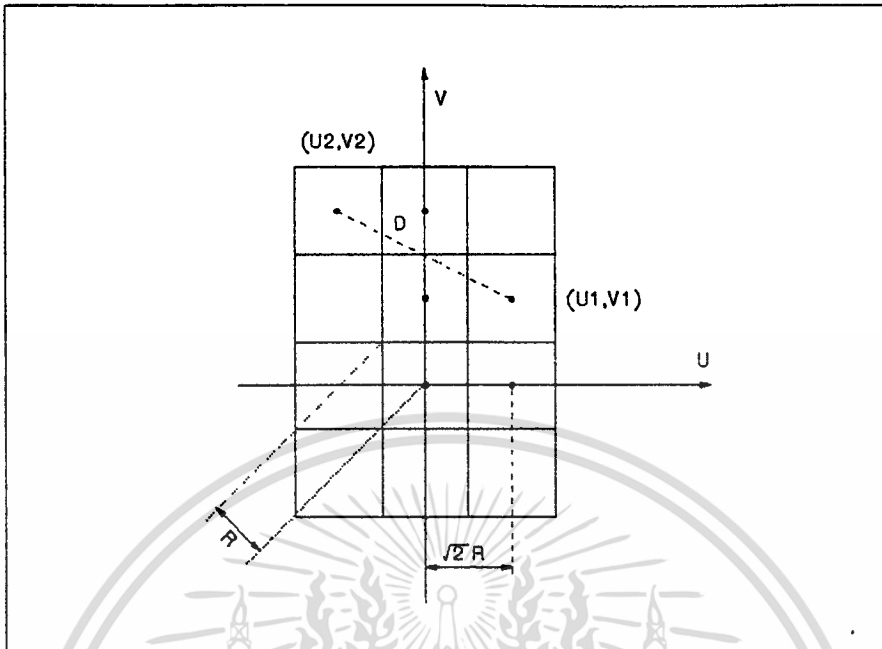
$$D^2 = i^2 + ij + j^2 \quad (2.1)$$

โดยที่ $i = u_2 - u_1$ และ $j = v_2 - v_1$

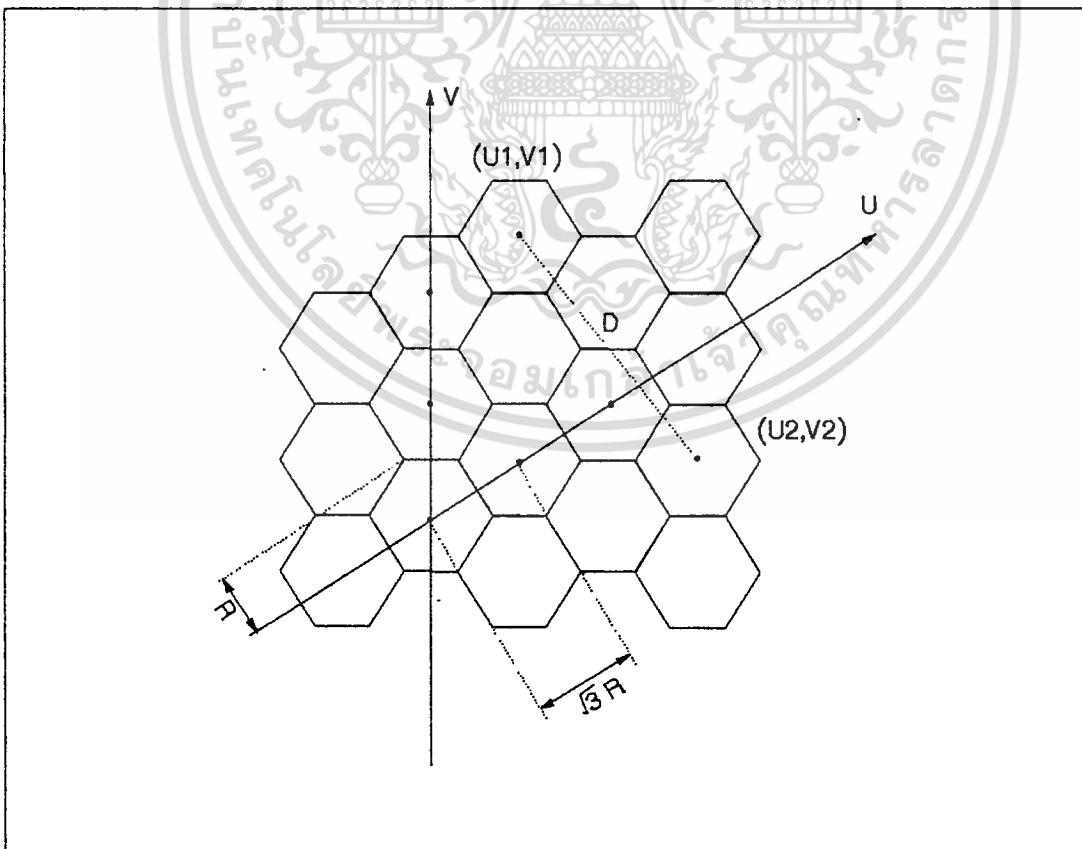
ส่วนในการจัดวางเซลล์แบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส จะได้ดังในรูปที่ 2.10 โดยแกนทั้งสองจะทำมุม กัน 90° โดยให้รัศมีของเซลล์ R เป็นดังรูป ระยะห่างระหว่างเซลล์จะมีค่าเป็น $\sqrt{2} R$ ระยะทางของ D จะได้เป็น

$$D^2 = i^2 + j^2 \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การวางเซลล์ในแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส

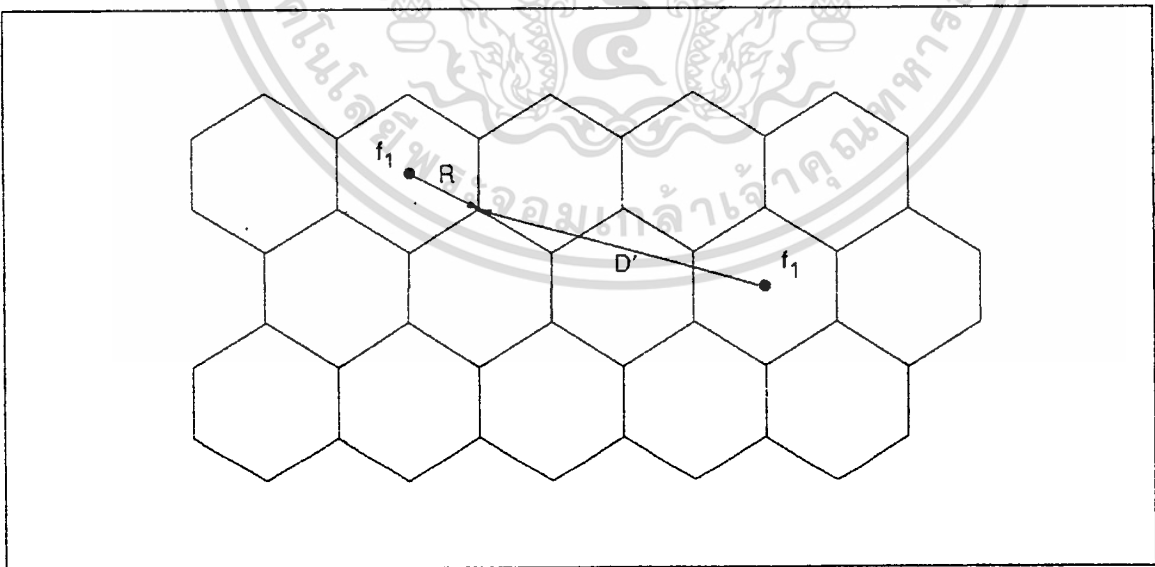


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.11 การวางเซลล์ในแบบหกเหลี่ยม ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการจัดวางเซลล์ในแบบหกเหลี่ยม จะได้ดังในรูปที่ 2.8 โดยที่แกนทั้งสองจะทำมุมกัน 60° โดยให้เซลล์มีรัศมี R ดังรูป ระยะห่างระหว่างเซลล์จะมีค่าเป็น $\sqrt{3} R$ ดังนั้น จะได้ระยะทาง D เป็น

$$D^2 = i^2 + ij + j^2 \quad (2.3)$$

จากลักษณะการวางเซลล์ในแบบต่างๆข้างต้น เมื่อกำหนดให้แต่ละเซลล์มีรัศมีที่เท่ากันคือ R จากรูปที่ 2.8 ถึงรูปที่ 2.11 จะเห็นว่าการเกิดเหลื่อมล้ำของเซลล์ (Overlapping) ขึ้น แต่ในลักษณะการจัดวางเซลล์แบบหกเหลี่ยมจะเกิดขึ้นต่ำที่สุด และจำนวนของเซลล์ที่อยู่ติดกันจะมีจำนวนน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการวางเซลล์ต่างๆ จะสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นว่าลักษณะของการจัดวางเซลล์แบบหกเหลี่ยมดีที่สุด จึงได้นำมาใช้งานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ และเมื่อเปรียบเทียบจุดที่จะทำให้เกิดการสอดแทรกของช่องสัญญาณเดียวกันจะได้ดังในรูปที่ 2.12 โดยระยะทาง R เป็นของเซลล์ที่ใช้ช่องความถี่ที่ต้องการ ส่วนระยะทางของเซลล์ที่มีการสอดแทรกเข้ามาจะมีค่า D' จะเห็นว่าในเซลล์แบบหกเหลี่ยมจะมีระยะทาง D' ที่ห่างกว่าในการวางเซลล์แบบสามเหลี่ยมหรือแบบสี่เหลี่ยม ทำให้ค่าการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์มีค่าที่ต่ำ และเมื่อเปรียบเทียบระยะทางในการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ในทั้ง 3 แบบจะได้ดังในรูปที่ 2.13 ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงค่าอัตราส่วนของ D/R กับจำนวนเซลล์



รูปที่ 2.12 แสดงจุดที่จะเกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์มากที่สุดในการวางเซลล์แบบหกเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางการเปรียบเทียบการวางเซลล์แบบต่าง ๆ

การวางเซลล์	ระยะห่างของเซลล์ที่ติดกัน	พื้นที่ของเซลล์	พื้นที่หล่อมล้า	จำนวนเซลล์ที่ติดกัน
แบบสามเหลี่ยม	R	$3\sqrt{3} R^2 / 4$	$(2 - 3\sqrt{3}/2)R^2$	6
แบบสี่เหลี่ยม	$\sqrt{2} R$	$2R^2$	$(2 - 4)R^2$	4
แบบหกเหลี่ยม	$\sqrt{3} R$	$3\sqrt{3} R^2 / 2$	$(2 - 3\sqrt{3})R^2$	3

2.3.3 การจัดกลุ่มเซลล์

จากลักษณะของเซลล์ต่าง ๆ จะเห็นว่าลักษณะของเซลล์แบบหกเหลี่ยมจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด จึงนำมาใช้ในการพิจารณาเพื่อจัดกลุ่มเซลล์ เพื่อนำไปใช้ในเทคนิคของการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ ซึ่งก็คือจะทำการหาจำนวนของเซลล์ที่จะใช้ในแต่ละกลุ่มเซลล์ โดยจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้กลุ่มความถี่เดียวกัน (D) และรัศมีของเซลล์ (R) ด้วย โดยจะให้ K คือจำนวนของเซลล์ในแต่ละกลุ่มเซลล์ a คือพื้นที่ของเซลล์แต่ละเซลล์ และ A คือพื้นที่รวมทั้งหมดของเซลล์ภายในกลุ่มเซลล์ ดังนั้นจำนวนของเซลล์ในแต่ละกลุ่มเซลล์ที่สามารถใช้ได้จะสามารถหาได้ดังนี้

$$a = \sqrt{3} / 2 (\sqrt{3} R)^2 = \sqrt{3} / 2 \quad (2.4)$$

โดยที่สมมติให้ $\sqrt{3} R$ คือระยะห่างระหว่างเซลล์ที่อยู่ติดกันมีค่าเป็น 1 หน่วย ระยะทางระหว่างเซลล์ 2 เซลล์ที่ใช้กลุ่มความถี่เดียวกันจะมีค่าเป็น D ดังนั้นจะสามารถหาพื้นที่ของกลุ่มเซลล์ทั้งหมดได้เท่ากับ

$$A = 3\sqrt{3} ((D/2)/\cos 30^\circ)^2 \cdot (1/2) = \sqrt{3} D^2 / 2 \quad (2.5)$$

ดังนั้นจำนวนของเซลล์ในแต่ละกลุ่มเซลล์จะมีค่าเป็น

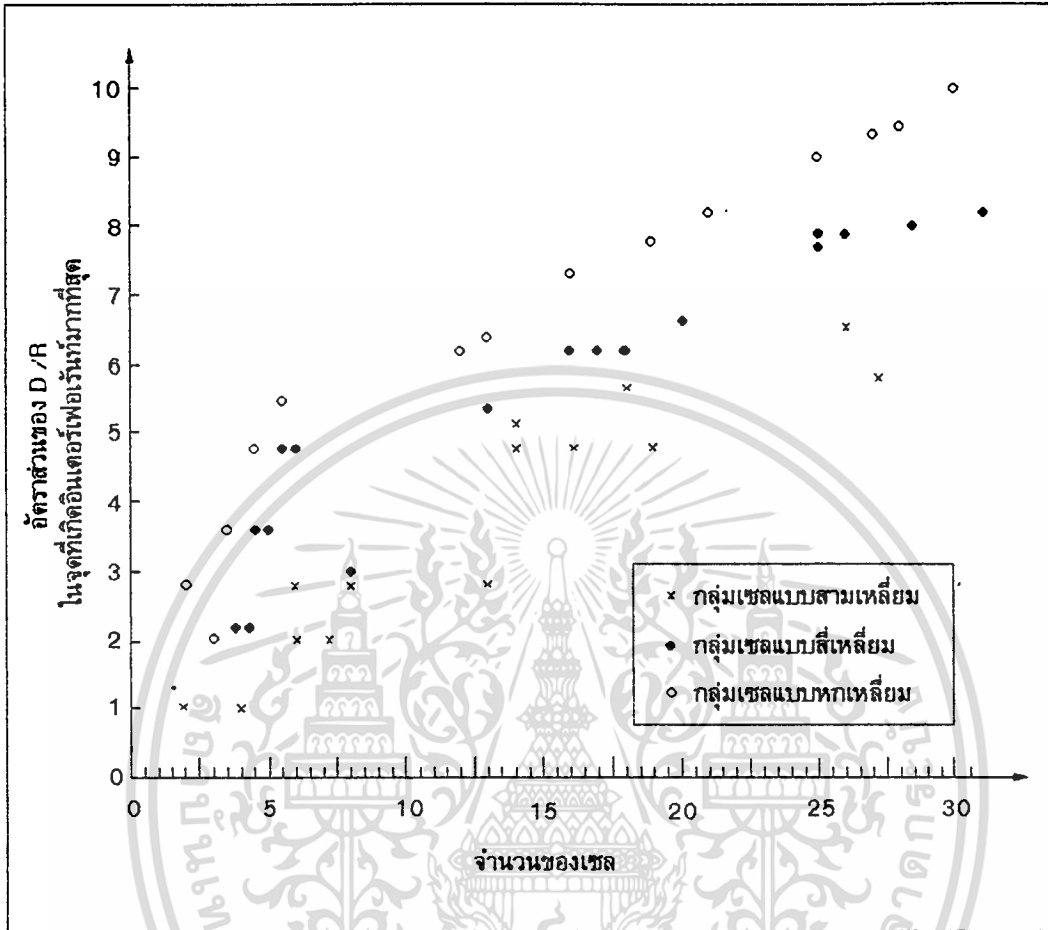
$$K = A/a = D^2 \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.3 ในการวางเซลล์แบบหกเหลี่ยมจึงมีค่าเป็น

$$K = i^2 + ij + j^2 \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



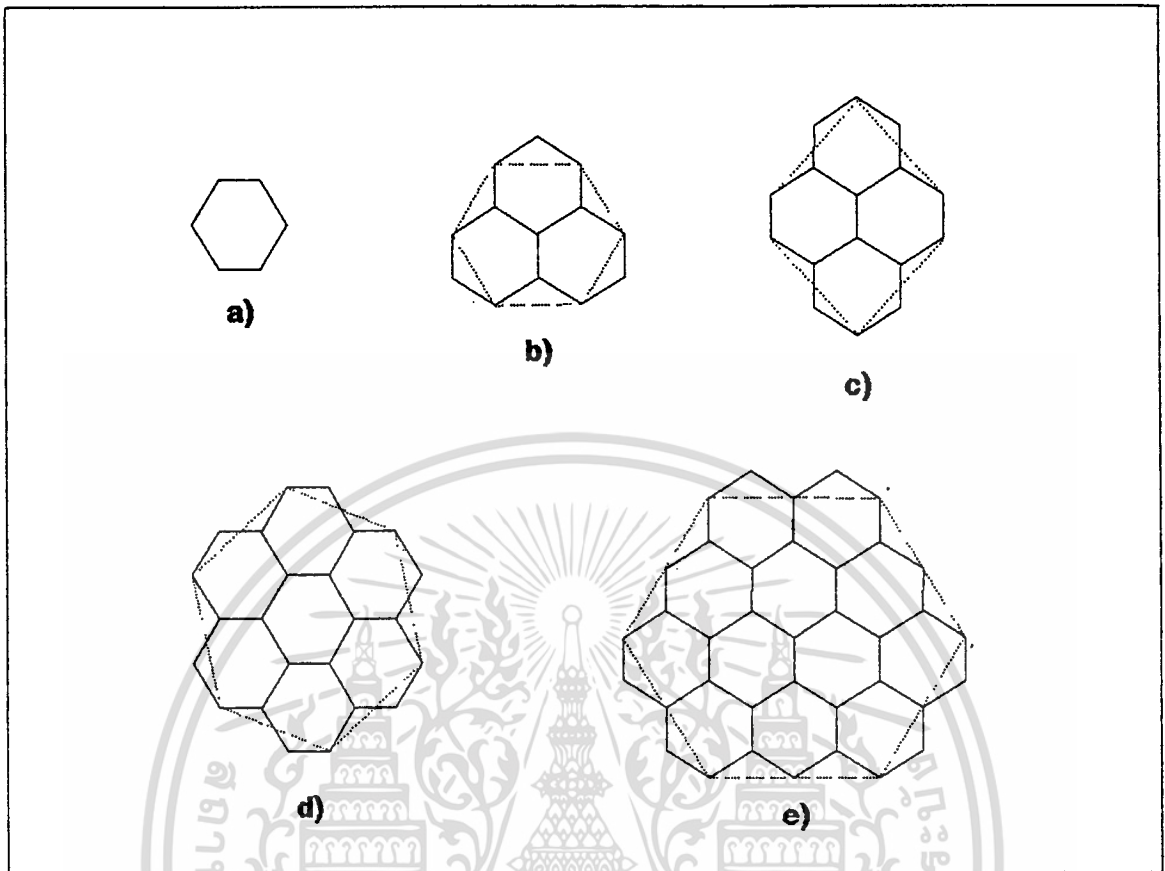
รูปที่ 2.10 กราฟเปรียบเทียบระหว่าง จำนวนของเซลล์และอัตราส่วนของ D/R ในการวางเซลล์แบบต่าง ๆ

จากสมการที่ 2.7 จะเห็นว่าค่า i และ j จะต้องมีค่าเป็นจำนวนเต็ม ดังนั้นจำนวนของเซลล์ในแต่ละกลุ่มเซลล์จะมีจำนวนของเซลล์ได้เป็น

$$K = 1, 3, 4, 7, 9, 12, 13, 16, 19, 21, \dots$$

แต่รูปแบบของเซลล์ที่มีจำนวนของเซลล์ $K = 7$ และ $K = 12$ เป็นรูปแบบที่มีการนำไปใช้งานมากที่สุดในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลู่ล่าปัจจุบัน ลักษณะของเซลล์ในรูปแบบต่างๆสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 รูปแบบของเซลในแบบต่างๆ

a)แบบ K = 1 b)แบบ K = 3 c)แบบ K = 4 d)แบบ K = 7 e)แบบ K = 12

พารามิเตอร์ที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งในลักษณะของการจัดเซล ก็คือ พารามิเตอร์ของอัตราส่วน D/R ที่เรียกว่า อัตราส่วนของโคแชนแนล (Cochannel Ratio) ซึ่งอัตราส่วนนี้จะเป็นส่วนที่จะบ่งบอกถึงคุณภาพของการส่งสัญญาณและปริมาณของทราฟฟิกที่รองรับได้ โดยในส่วนของคุณภาพของการส่งสัญญาณ ค่าอัตราส่วน D/R จะสามารถพิจารณาถึงค่าของการเกิดโคแชนแนลอินเตอร์เฟอเรนซ์ (Cochannel Interference) โดยที่ถ้าค่าอัตราส่วน D/R มีค่าสูง การเกิดโคแชนแนลอินเตอร์เฟอเรนซ์จะมีค่าน้อย ตรงกันข้ามถ้าอัตราส่วน D/R มีค่าต่ำ จะเกิดโคแชนแนลอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่สูง อัตราส่วนของ D/R จะสามารถเขียนในเทอมของจำนวนเซลในกลุ่มเซล (K) ได้เท่ากับ

$$D/R = \sqrt{K} / (1/\sqrt{3}) = \sqrt{3} K \quad (2.8)$$

ดังนั้นถ้าจำนวนของเซล K มีจำนวนน้อย(ค่า D/R จะน้อย) จะทำให้จำนวนของช่องสัญญาณต่อเซลมีจำนวนมาก ซึ่งก็จะทำให้ในเซลนั้นจะสามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกได้สูง แต่ถ้าจำนวนของเซลในกลุ่มเซลมีจำนวนมาก(ค่า D/R จะมีค่าเพิ่มขึ้น) จำนวนช่องสัญญาณต่อเซลจะไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ ตามสภาพการเปลี่ยนแปลงของกราฟฟิค การเพิ่มขึ้นของปริมาณกราฟฟิคจะมีอยู่ช่วงหนึ่งที่พันขีดจำกัดในการให้บริการที่ยอมรับได้ ซึ่งก็หมายความว่า เกิดปัญหาช่องสัญญาณไม่เพียงพอ ทำให้การโทรเข้าหรือโทรออกของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ไม่สามารถกระทำได้เกินค่าที่กำหนด อย่างเช่น กำหนดอัตราการบล็อกที่ใช้เป็น $B = 2\%$ หมายถึงในการใช้งานโทรศัพท์ใน 100 ครั้ง ควรจะเกิดการบล็อกของโทรศัพท์ได้ไม่เกิน 2 ครั้ง เป็นต้น ดังนั้นเทคนิคในการเปลี่ยนแปลงเซลล์เพื่อสามารถปรับเปลี่ยนตามสภาพการเปลี่ยนแปลงกราฟฟิคจึงเป็นสิ่งที่ช่วยในการแก้ปัญหาข้างต้นได้ การเปลี่ยนแปลงเซลล์จะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การเปลี่ยนแปลงเซลล์อย่างถาวร และการเปลี่ยนแปลงเซลล์อย่างไม่ถาวร เนื่องจากสภาพกราฟฟิคในบางช่วงเวลาจะมีความหนาแน่นมากในช่วงโมงเร่งด่วน(ช่วงเวลาประมาณ 9.30-11.30น.) แต่ในช่วงเวลาปกติหรือในตอนกลางคืน สภาพกราฟฟิคจะเบาบางลง เทคนิคในการเปลี่ยนแปลงเซลล์จะมีวิธีต่าง ๆ ดังนี้

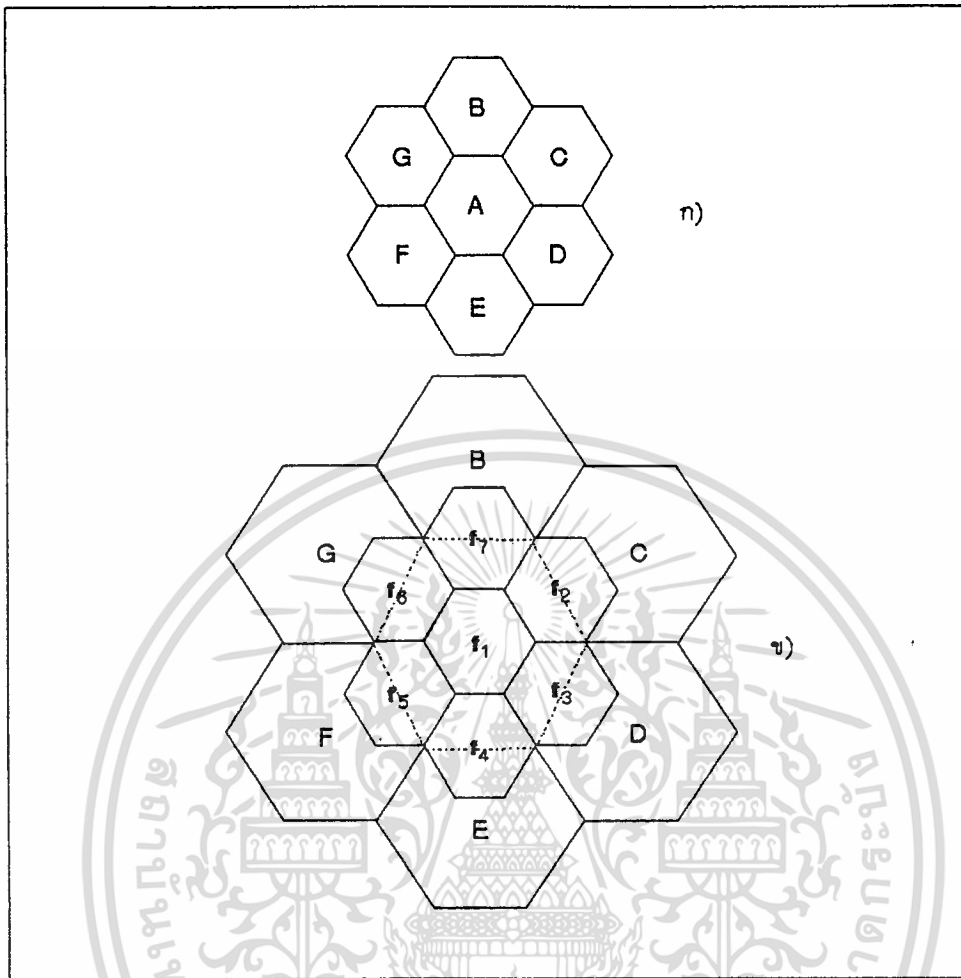
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบปริมาณกราฟฟิค และคุณภาพของการส่งสัญญาณในการจัดเซลล์รูปแบบต่าง ๆ

K	D/R	จำนวนช่องสัญญาณ	ปริมาณกราฟฟิค	คุณภาพการส่งสัญญาณ
1	1.73	832	↑ สูง ↓ ต่ำ	↓ ต่ำ ↑ สูง
3	3.00	277		
4	3.46	208		
7	4.58	118		
12	6.00	69		

2.3.3.1 การยืมช่องสัญญาณจากเซลล์อื่น ๆ

ในเซลล์แต่ละเซลล์จะมีช่องสัญญาณที่ถูกจัดสรรไว้จำนวนหนึ่ง แต่เนื่องจากความแตกต่างกันไม่ว่าทางภูมิศาสตร์หรือสภาพกราฟฟิค ทำให้บางครั้งช่องสัญญาณในเซลล์หนึ่ง ๆ อาจจะไม่เพียงพอกับกราฟฟิคที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น ช่วงโมงเร่งด่วน เป็นต้น เราสามารถที่จะกำหนดให้การทำงานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำการยืมช่องสัญญาณจากเซลล์อื่นที่มีปริมาณกราฟฟิคน้อยมาใช้ในช่วงเวลาที่มีปริมาณกราฟฟิคหนาแน่น และต่อเมื่อสภาพกราฟฟิคเบาบางลงแล้ว ก็จะได้คืนช่องสัญญาณกลับไปยังเซลล์โซลิตเดิม ลักษณะนี้เป็นการเปลี่ยนแปลงเซลล์แบบไม่ถาวร ซึ่งลักษณะของการยืมช่องสัญญาณสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.16 โดยที่ให้เซลล์ที่ใช้ความถี่ f_3 มีปริมาณกราฟฟิคหนาแน่นในช่วงเวลา 9.30-11.30 น. ทำให้ช่องสัญญาณไม่เพียงพอ ระบบจึงจัดสรรช่องสัญญาณบางส่วนของเซลล์ f_5 (f_5') มาใช้ในเซลล์ f_3 แต่หลังจากนั้นในช่วงเวลาปกติก็จะจัดสรรช่องสัญญาณเหมือนเดิม ในเทคนิคนี้จะเป็นประโยชน์มากเพราะไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงทางฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

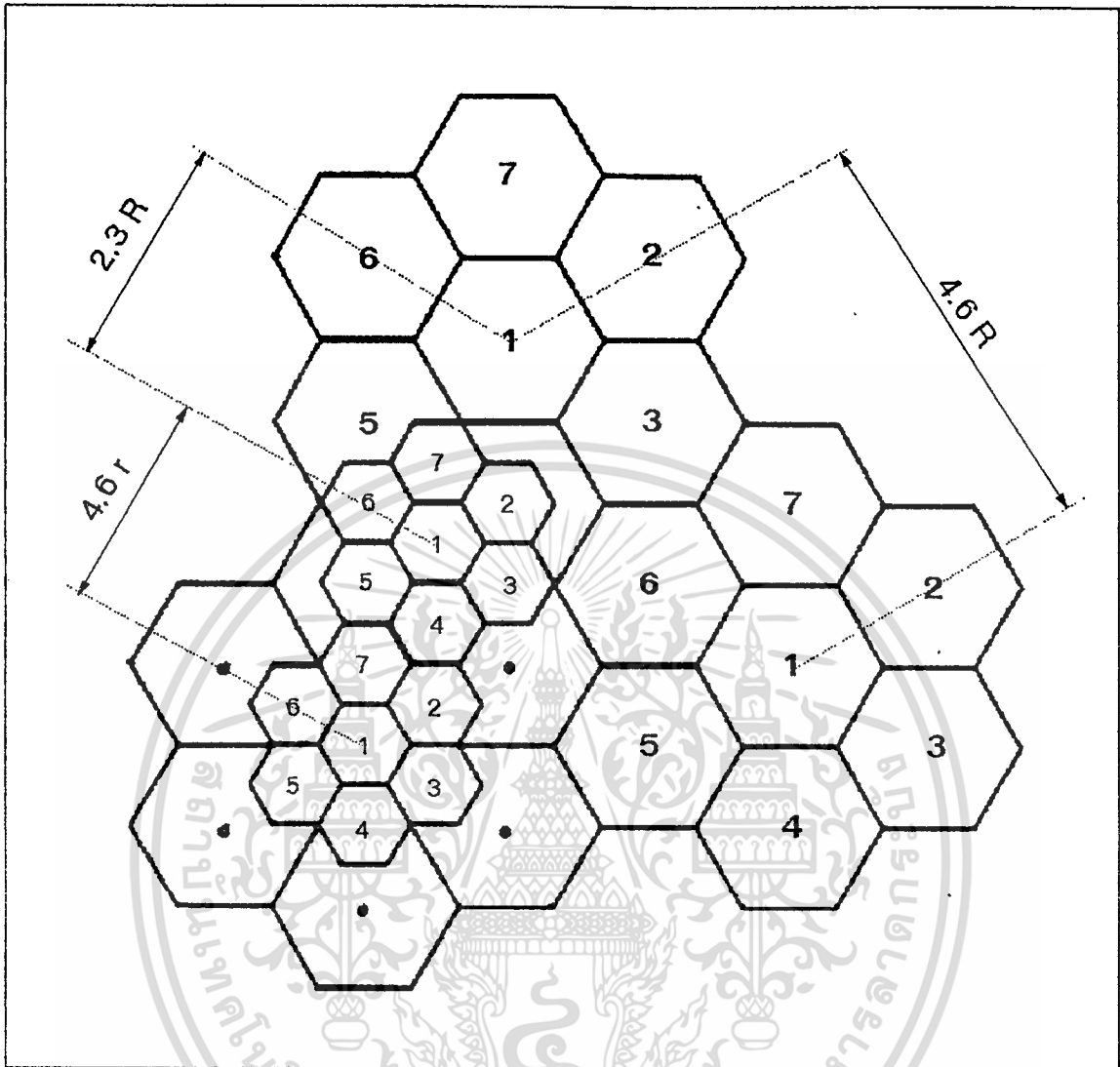


รูปที่ 2.17 การแบ่งเซลล์ (Cell Splitting)

- ก) จัดเซลล์แบบปกติ
ข) มีการแบ่งเซลล์ขึ้นในเซลล์ A

เทคนิคการแบ่งเซลล์นี้ จะเห็นว่าจะต้องมีการติดตั้งสถานีฐานเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งการแบ่งเซลล์จะต้องใช้ค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง และมีข้อจำกัดในส่วนของการติดตั้งสถานีฐานด้วย แต่จะสามารถเพิ่มปริมาณ ทราฟฟิคได้สูง

2.3.3.3 การแบ่งเซลล์ชั้นนอกและเซลล์ชั้นใน (Overlaid and Underlaid Cell) จากปัญหาที่เกิดขึ้นจากการแบ่งเซลล์ในรูปที่ 2.18 ที่ทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์ระหว่างเซลล์เล็กกับเซลล์ใหญ่ที่ใช้ความถี่เดียวกัน และค่าใช้จ่ายที่สูงในการติดตั้งสถานีฐานเพิ่มขึ้น สามารถใช้เทคนิคในการแบ่งเซลล์ในลักษณะของเซลล์ชั้นนอกกับเซลล์ชั้นใน ดังแสดงในรูปที่ 2.19 จากในรูปเราจะเห็นว่า ในเซลล์ชั้นในจะมีระยะห่างของเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกัน มีระยะทางไกลขึ้นเมื่อเทียบกับรัศมีของเซลล์ ซึ่งปกติแล้วจะมีค่า $D = 4.6(R)$ แต่รัศมี R ที่ใช้จะเป็นรัศมีของเซลล์ชั้นนอก ถ้าสมมติให้รัศมีของเซลล์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



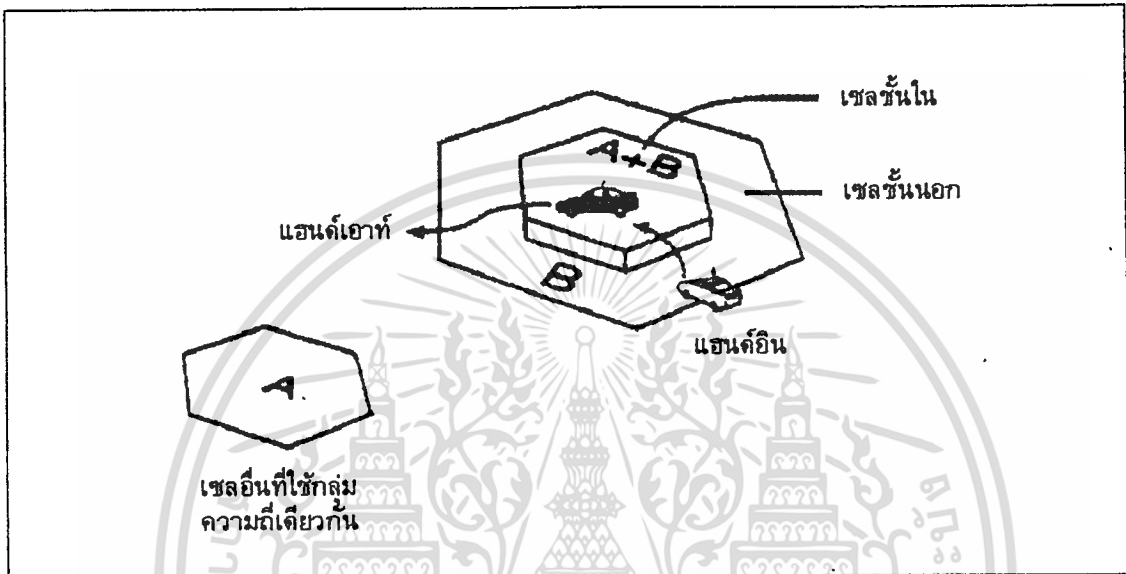
รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างเซลล์หลังจากการแบ่งเซลล์

เซลล์ชั้นในมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของรัศมีเซลล์ชั้นนอก ดังนั้นจะได้ค่า $D = 9.6(R)$ ดังนั้นเมื่อค่าอัตราส่วนของ D/R มีค่าเพิ่มขึ้นก็จะทำให้เกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่มีค่าลดลงในเซลล์ชั้นใน

การแบ่งเซลล์ชั้นนอกและเซลล์ชั้นในนี้จะต้องมีการควบคุมกำลังในการส่งของเซลล์ชั้นในและมีกระบวนการแฮนด์ออฟเพิ่มขึ้นอีก ในการที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่จากเซลล์ชั้นนอกไปยังเซลล์ชั้นใน หรือในทางกลับกัน โดยกระบวนการแฮนด์ออฟจากเซลล์ชั้นนอกไปยังเซลล์ชั้นใน จะเรียกว่า แฮนด์อิน (Hand-in) ส่วนกระบวนการแฮนด์ออฟจากเซลล์ชั้นในออกไปเซลล์ชั้นนอก จะเรียกว่า แฮนด์เอาท์ (Hand-out)

ช่องสัญญาณที่ใช้ในเซลล์ชั้นนอกและเซลล์ชั้นใน จะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อยจากช่องสัญญาณของเซลล์เดิมก่อนที่จะมีการแบ่งเซลล์ จากในรูปที่ 2.19 จะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มความถี่ A และ B (โดย $C = A+B$, C คือช่องสัญญาณของเซลล์ก่อนถูกแบ่งเซลล์) จะทำให้สามารถรองรับปริมาณของทราฟฟิกได้เพิ่มขึ้น แต่ถ้าเซลล์ชั้นในและเซลล์ชั้นนอก จะใช้การจัดเซลล์ที่แตกต่างกัน เช่น ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของกราฟฟิคได้เพิ่มขึ้น แต่ถ้าเซลล์ชั้นในและเซลล์ชั้นนอก จะใช้การจัดเซลล์ที่แตกต่างกัน เช่น เซลล์ชั้นในจัดเซลล์แบบ $k=3$ เซลล์ชั้นนอกจัดเซลล์แบบ $k=9$ ดังในรูปที่ 2.20 เป็นต้น จากวิธีการนี้จะทำให้ประสิทธิภาพการใช้สเปกตรัมความถี่ได้เพิ่มขึ้น 20 % จากการจัดเซลล์แบบ k เดียวเพราะจะทำให้จำนวนของสถานีฐานมีจำนวนน้อยลงดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.21 โดยที่จำนวนของปริมาณกราฟฟิคจะยังคงมีค่าเท่าเดิม



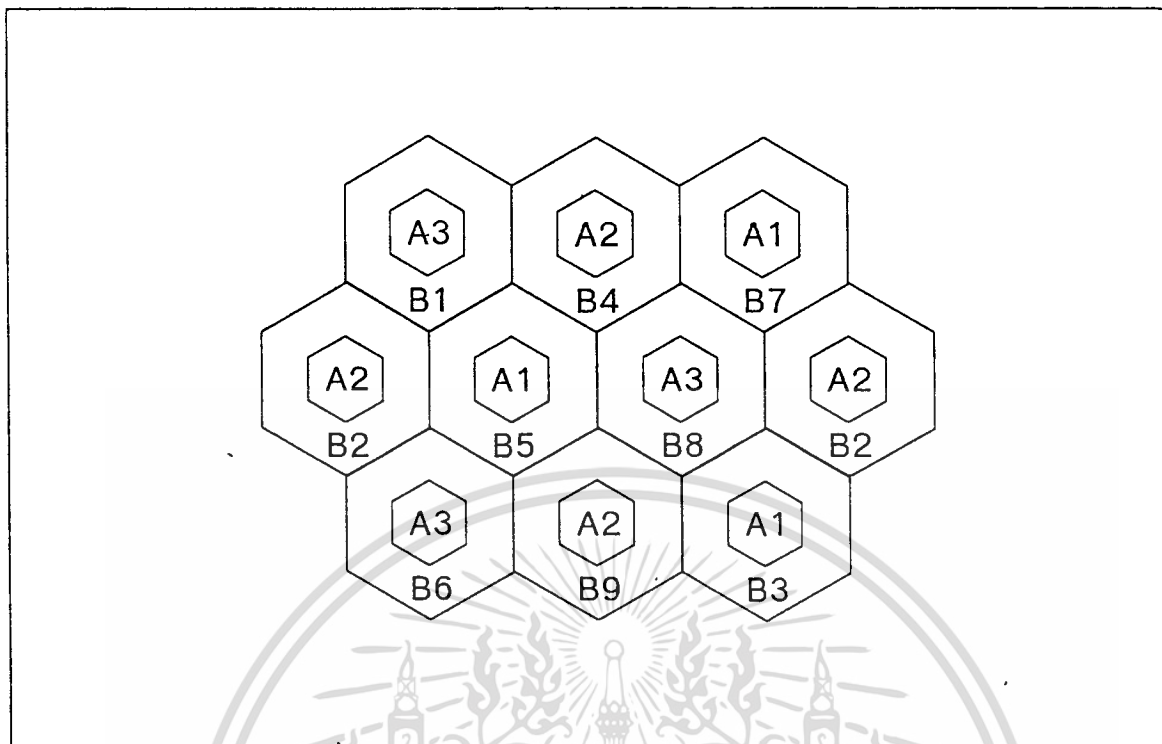
รูปที่ 2.19 การแบ่งเซลล์ชั้นนอกและเซลล์ชั้นใน (Overlaid and Underlaid Cell)

2.3.3.4 การแบ่งเซลล์แบบเซกเตอร์ (Sectorization) จากวิธีการแบ่งเซลล์ที่ผ่านมาจะเป็นวิธีการปรับเปลี่ยนเซลล์ที่ดี แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะกระทำได้ยากเพราะ

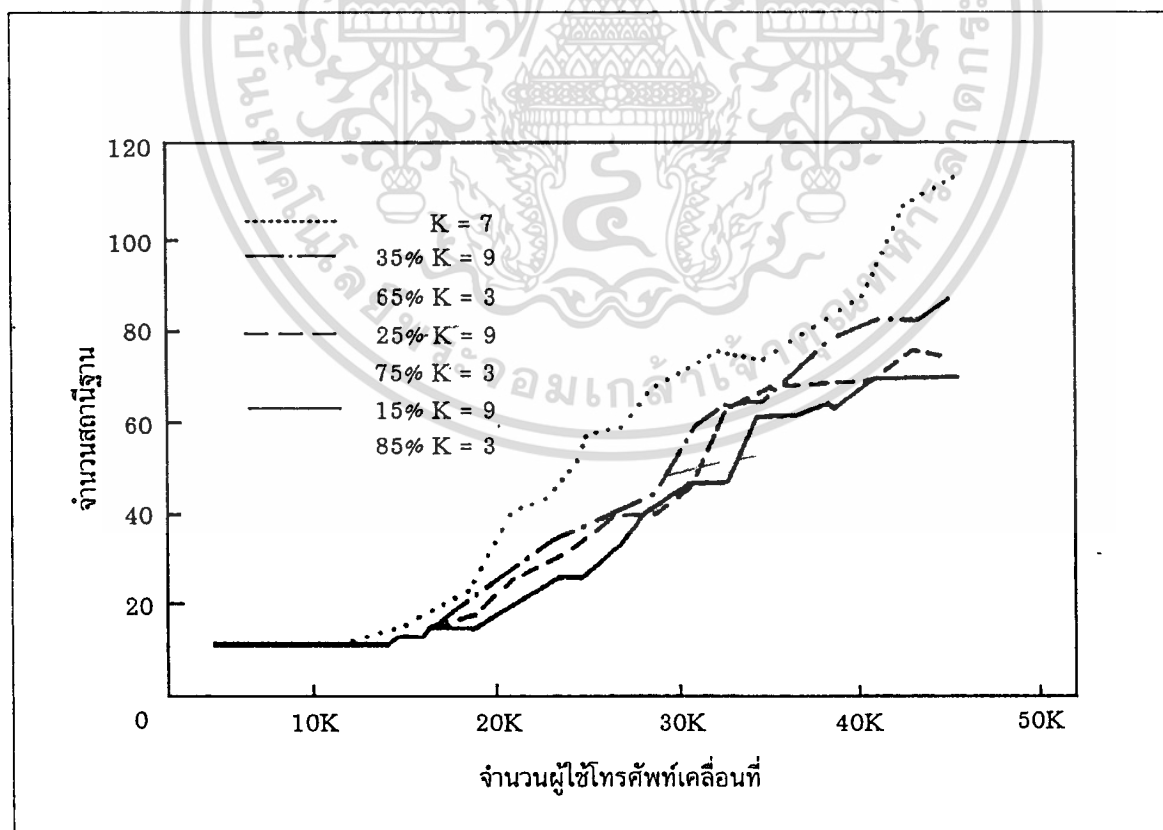
1. ระยะทางระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกันมีค่าลดลง จะทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่สูงขึ้น
2. ค่าใช้จ่ายของระบบสูงขึ้น เพราะต้องมีการติดตั้งสถานีเพิ่มขึ้น
3. ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีฐานที่เพิ่มขึ้นจะหาได้ยาก

ดังนั้นจึงควรจะใช้วิธีการแบ่งเซลล์แบบเซกเตอร์ เทคนิคนี้จะทำการแบ่งเซลล์ออกเป็นเซกเตอร์เช่น 3 เซกเตอร์ 6 เซกเตอร์ เป็นต้น แต่ละเซกเตอร์จะครอบคลุมพื้นที่แตกต่างกัน และจะใช้ช่องสัญญาณที่แตกต่างกันด้วย โดยใช้สายอากาศแบบมีทิศทาง(directional antenna) ลักษณะของการแบ่งเซลล์แบบเซกเตอร์จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.22 ที่สามารถจะใช้จุดอ้างอิงในการแบ่งเป็นแบบเซกเตอร์ได้ 2 ลักษณะคือ แบ่งจากกลางเซลล์ และแบ่งจากขอบเซลล์ ซึ่งทั้งสองลักษณะจะไม่มี ความแตกต่างในด้านการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

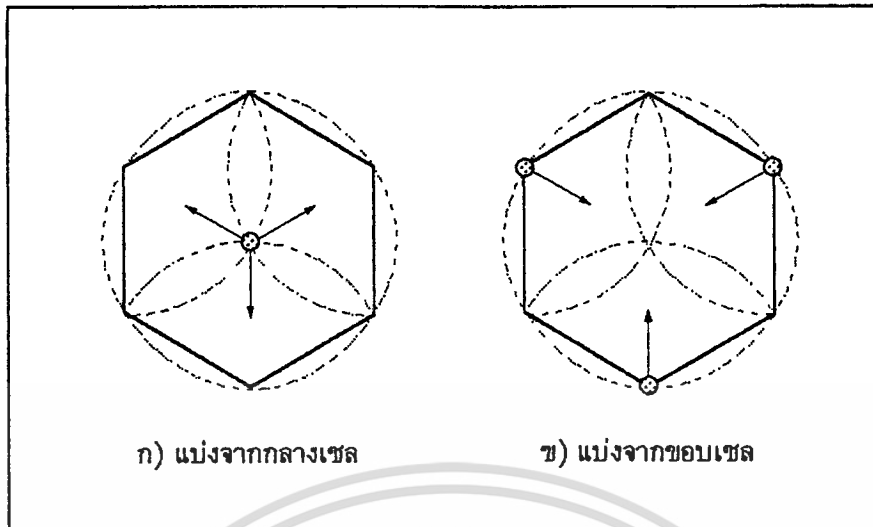


รูปที่ 2.20 การจัดเซลล์ชั้นนอกและเซลล์ชั้นใน แบบหลายกลุ่มเซลล์



รูปที่ 2.21 กราฟแสดงปริมาณกราฟฟิคและจำนวนสถานีฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งจากการจัดเซลล์ชั้นนอกและเซลล์ชั้นในแบบหลายกลุ่มเซลล์นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 การแบ่งเซลล์แบบเซคเตอร์

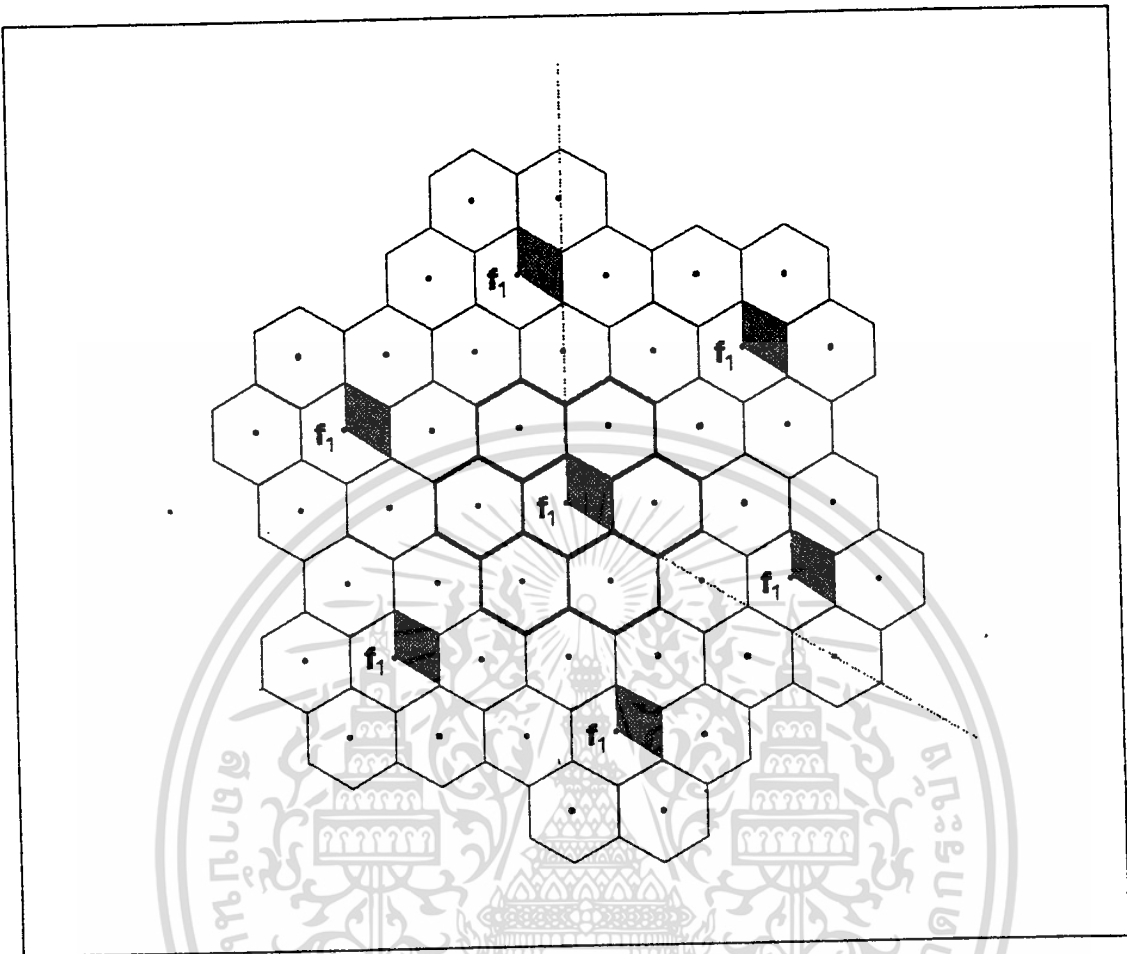
การแบ่งเซลล์เป็นเซคเตอร์จะช่วยให้การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์มีค่าน้อยลง เพราะการแบ่งเซลล์ออกเป็นเซคเตอร์จะทำให้เซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกันจะเกิดขึ้นเฉพาะบางเซลล์เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.23 โดยใช้รูปแบบเซลล์ $k=7$ จะเห็นว่าถ้ายังไม่มีการแบ่งเซลล์เป็นเซคเตอร์แล้ว เซลล์ที่จะทำให้เกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์จะเกิดขึ้นถึง 6 เซลล์ แต่เมื่อแบ่งเซลล์เป็น 3 เซคเตอร์ (แต่ละเซคเตอร์มีมุม 120°) จะทำให้เกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์เพียง 2 เซลล์เท่านั้นที่มีค่ามากที่สุด

การแบ่งเซลล์เป็นเซคเตอร์นี้จะทำให้จำนวนของช่องสัญญาณต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นด้วย จึงทำให้สามารถรองรับปริมาณครอบคลุมได้เพิ่มขึ้น และเนื่องจากสภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่จะมีสภาพแตกต่างกัน ดังนั้นในทิศทางต่างๆ รอบเซลล์ก็อาจจะมีความถี่ที่แตกต่างกันด้วย การแบ่งเซลล์เป็นเซคเตอร์จะสามารถปรับกำลังส่ง ให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ในแต่ละเซคเตอร์ได้ และการแบ่งเซคเตอร์ไม่จำเป็นต้องสร้างสถานีฐานเพิ่มเติมเหมือนกับการแบ่งแยกเซลล์ (Cell Splitting) เพียงแต่เพิ่มสายอากาศบนเสาอากาศของสถานีเดียวกันได้

2.4 การอินเตอร์เฟอเรนซ์ (Interference)

จากหลักการนำเอาช่องสัญญาณความถี่กลับมาใช้ใหม่มาใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้สเปกตรัมความถี่ที่มีอยู่จำกัด สิ่งที่จะเกิดขึ้นจากผลของเทคนิคนี้ก็คือ การรบกวนของสัญญาณจากช่องสัญญาณอื่นๆ แทรกเข้ามา ซึ่งผลอันนี้เกิดจากการรบกวนของสัญญาณจากเซลล์อื่นๆ ที่มีการใช้ช่องสัญญาณความถี่เดียวกัน ซึ่งการรบกวนของสัญญาณเช่นนี้จะเรียกว่า การอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณที่เหมือนกัน (Co-channel Interference) และการรบกวนของสัญญาณอีกส่วนหนึ่งที่เกิดขึ้นได้จากช่องสัญญาณความถี่ที่อยู่ติดกัน การรบกวนของสัญญาณนี้เรียกว่า การอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณข้างเคียง (Adjacent-channel Interference) ดังนั้นในการออกแบบระบบจึงต้องคำนึงถึงปัญหาของการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์นี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 การอินเตอร์เฟอเรนซ์ในการแบ่งเซลล์แบบเซลล์เตอร์

2.4.1 การอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณที่เหมือนกัน (Cochannel Interference)

การอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณที่เหมือนกัน เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้โครงสร้างแบบเซลล์ลูล่า เพราะว่าช่องสัญญาณที่เหมือนกันจะถูกใช้ในเซลล์อื่นๆ ที่อยู่ห่างออกไป ดังนั้นค่าการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์แบบนี้จะขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกัน ซึ่งก็คือถ้าเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกันมีระยะห่างที่น้อยค่า การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์จะมีค่าสูง และในทางกลับกันถ้าเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกันมีระยะห่างที่มาก ค่าการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์จะมีค่าต่ำลง จึงต้องพยายามที่จะหาระยะห่างของเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกันที่น้อยที่สุด ที่ทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการอินเตอร์เฟอเรนซ์ได้ดังนี้

$$q = D/R \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ q จะเรียกว่า เฟคเตอร์ของการอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณที่เหมือนกัน (Cochannel Interference Reduction Factor) ถ้าพารามิเตอร์ q เพิ่มขึ้น การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ของช่องสัญญาณที่เหมือนกันจะเกิดขึ้นน้อยลง จากพารามิเตอร์ q เราสามารถพิจารณาได้จากระดับสัญญาณที่รับได้จากเครื่องโทรศัพท์คือค่า C/I (Carrier-to-Interference Ratio) โดยจะสามารถเขียนในรูปของฟังก์ชันได้เป็น

$$D = f(K_t, C/I) \tag{2.10}$$

โดยที่ K_t เป็นจำนวนของเซลล์ที่เกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณที่เหมือนกัน

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{k=1}^{K_t} I_k} \tag{2.11}$$

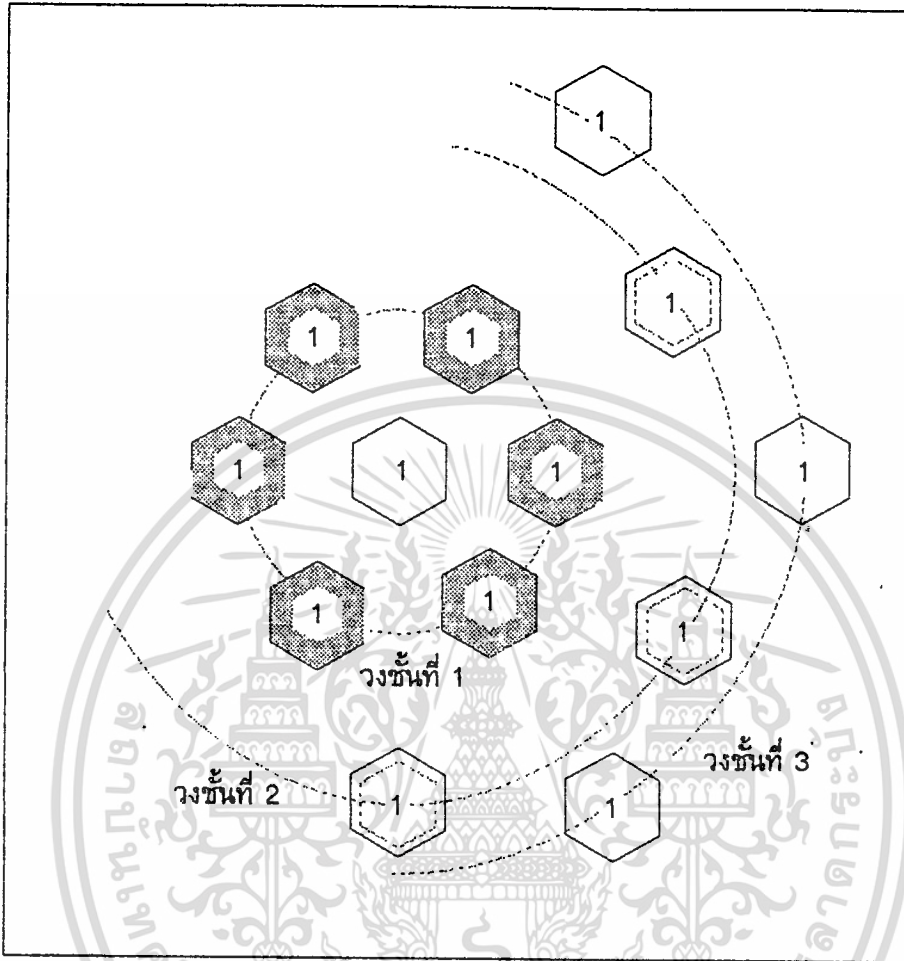
ถ้าสมมติว่าใช้รูปแบบของเซลล์ $K=7$ เซลล์ที่จะทำให้เกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ (K_t) จะมีอยู่ 6 เซลล์ ในชั้นแรก ดังในรูปที่ 2.24 การอินเตอร์เฟอเรนซ์นี้จะสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งสองทาง คือ ที่สถานีฐานและที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์นี้จะสามารถพิจารณาได้จากการแพร่กระจายคลื่น โดยที่ γ คือค่าความชันของการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น จะสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.12

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{\sum_{k=1}^{K_t} D_k^{-\gamma}} \tag{2.12}$$

ค่าความชันของการสูญเสียจากการแพร่กระจายคลื่น จะพิจารณาจากสภาพแวดล้อมของพื้นที่ ถ้าในสภาพแวดล้อมปกติโดยทั่วไปแล้วจะมีค่า $\gamma = 4$ ค่าของ C/I ในการใช้งานตามปกติแล้วจะกำหนดค่าไว้ที่ $C/I \geq 18$ dB หรือ 63.1 ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดจากการพิจารณาคุณภาพของสัญญาณที่ได้รับจากเครื่องรับโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยที่สัญญาณเสียงที่ได้รับฟังสามารถจะสื่อสารกันเข้าใจได้ ดังนั้นจึงต้องทำการเลือกตำแหน่งของเซลล์ให้เหมาะสมเพื่อให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์น้อยที่สุด

ลักษณะของการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์สามารถพิจารณาได้ 2 ลักษณะ คือ

1. กรณีการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.25
2. ค่าการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ในแต่ละช่องสัญญาณที่ใช้ความถี่เดียวกัน ซึ่งเกิดจากการส่งสัญญาณจากสถานีอื่น ๆ ที่ใช้กลุ่มช่องสัญญาณเดียวกัน ถ้าใช้เซลล์แบบ $K=7$



รูปที่ 2.24 การอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณที่เหมือนกันในเซลล์แบบ K=7

กลุ่มที่จะทำให้เกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์จะมีจาก 6 เซล ($I_1, I_2, I_3, \dots, I_6$) จะได้

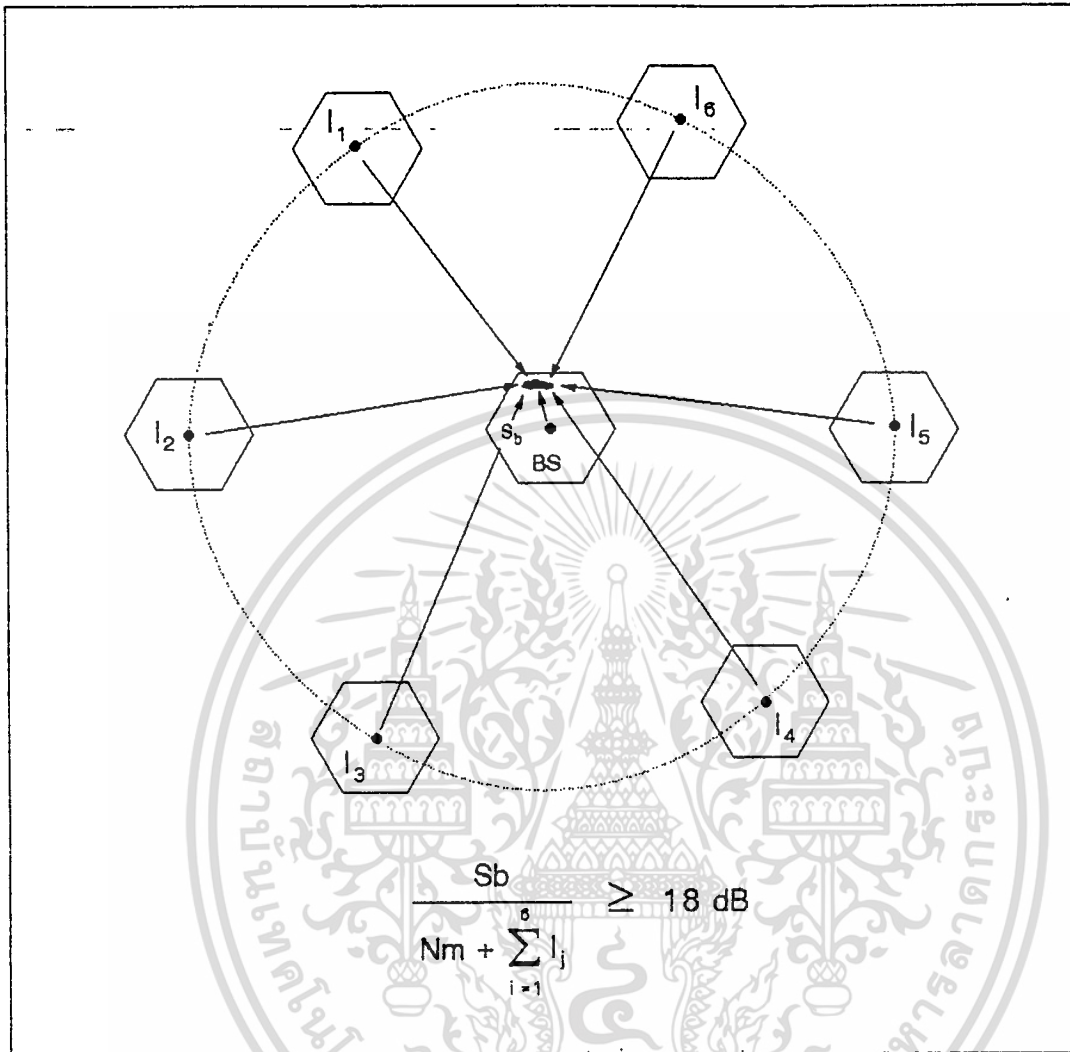
$$\frac{C_m}{N_m + \sum_{j=1}^6 I_j} \geq 18 \text{ dB} \tag{2.13}$$

โดยที่ N_m เป็นสัญญาณรบกวนที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับ

C_m เป็นสัญญาณแคเรียสที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับ

2. กรณีการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่สถานีฐาน สัญญาณแสดงได้ดังรูปที่ 2.26 เป็นการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์จากสัญญาณที่ส่งจากโทรศัพท์เคลื่อนที่จากเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกันมาปรากฏที่เครื่องรับของสถานีฐานที่ต้องการ ค่าอินเตอร์เฟอเรนซ์จะเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ของช่องสัญญาณเดียวกันที่เกิดขึ้นบนเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

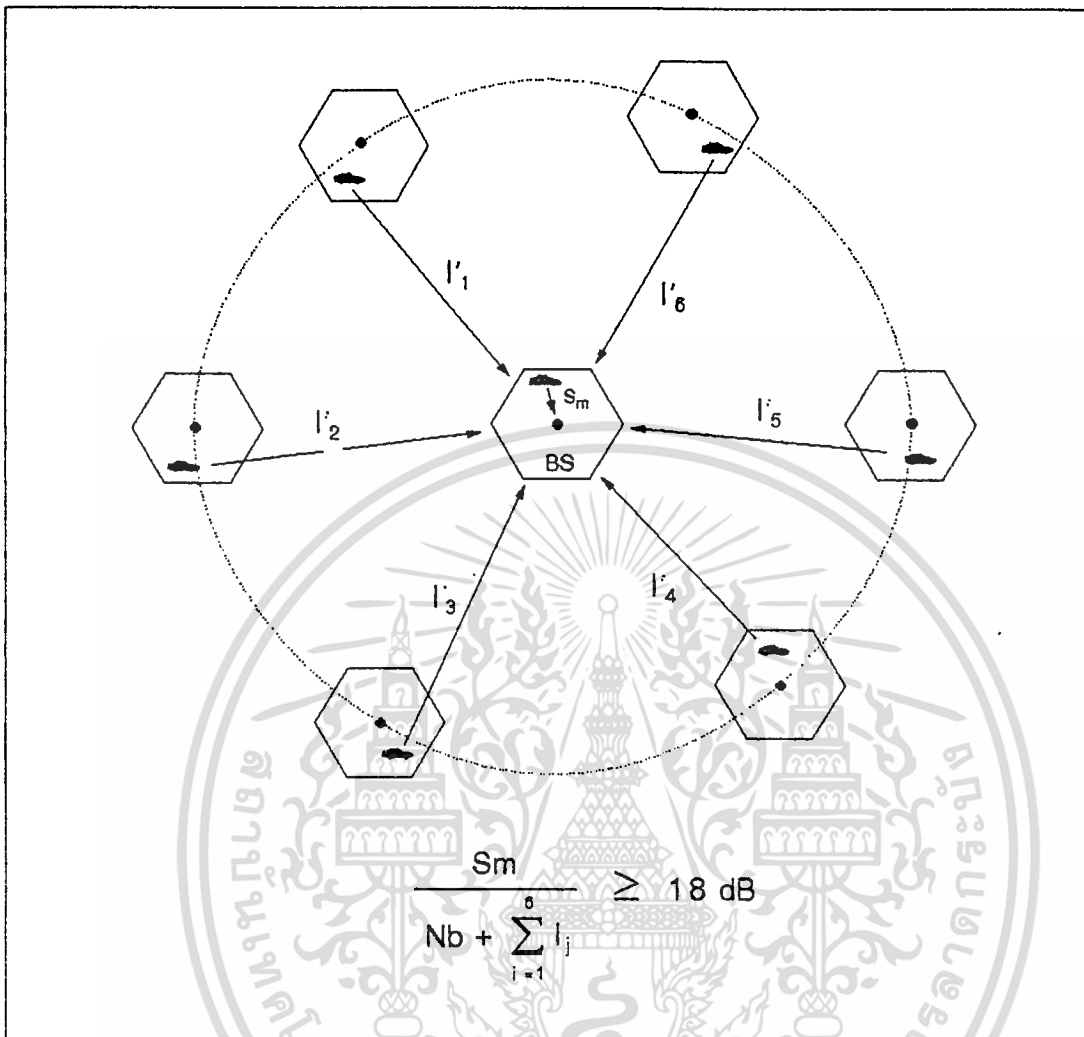
$$\frac{C_b}{N_b + \sum_{j=1}^6 I_j} \geq 18 \text{ dB} \tag{2.14}$$

โดยที่ N_b เป็นสัญญาณรบกวนที่สถานีฐานได้รับ
 C_b เป็นสัญญาณแคเรียสที่สถานีฐานได้รับ

2.4.2 การอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณข้างเคียง

การอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณข้างเคียงนี้ จะเป็นการรบกวนของช่องสัญญาณที่อยู่ติดกันกับช่องสัญญาณที่ใช้อยู่ในขณะนั้น ซึ่งมีสาเหตุเนื่องมาจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ เช่น ความเสถียรภาพของวงจรปรับความถี่ แบนด์วิดธ์ของเครื่องรับ วงจรฟิลเตอร์ ฯลฯ ซึ่งการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ของช่องสัญญาณเดียวกันที่เกิดขึ้นบนสถานีฐาน

เฟอเรนซ์แบบนี้ จะสามารถแก้ไขโดยการปรับปรุงคุณภาพของอุปกรณ์และการจัดช่องสัญญาณ เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้ช่องสัญญาณในเซลล์เดียวกันมีความถี่ของช่องสัญญาณที่ติดกันซึ่งจะช่วยลดการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณข้างเคียงได้ การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณข้างเคียงนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

2.4.2.1 การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ภายในเซลล์เดียวกัน ถ้ามีการใช้ช่องสัญญาณที่ติดกันในเซลล์เดียวกัน จะต้องพิจารณาดังตำแหน่งของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งเครื่องโทรศัพท์ที่อยู่ใกล้สถานีฐานจะมีการส่งสัญญาณที่แรงกว่าเครื่องโทรศัพท์ที่มีระยะทางห่างจากสถานีฐาน โดยที่มีการใช้ช่องสัญญาณที่มีความถี่ใกล้เคียงกัน ซึ่งการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ลักษณะนี้สามารถแก้ไขโดยการจัดช่องสัญญาณไม่ให้มีช่องสัญญาณติดกันภายในเซลล์เดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนขึ้นเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.2 การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ระหว่างเซลล์ ถ้าช่องสัญญาณที่ติดกันไม่ถูกใช้ในเซลล์เดียวกันแต่จะยังคงมีใช้อยู่บริเวณขอบของเซลล์ ปกติแล้วการออกแบบระบบจะต้องให้เซลล์มีการเหลื่อมล้ำกันเล็กน้อย เพื่อใช้ในการแฮนด์ออฟระหว่างเซลล์ ดังนั้นเมื่ออยู่บริเวณขอบของเซลล์ก็จะสามารถที่จะรับสัญญาณจากอีกเซลล์ได้เช่นกัน จึงทำให้บริเวณที่ขอบของเซลล์จะมีค่าการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่สูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.27 ซึ่งสามารถพิจารณาการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ได้ 2 ส่วน คือ

- การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังในรูปที่ 2.27 (ก) เมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้ช่องสัญญาณ ch_i และอยู่ในบริเวณขอบของเซลล์ อาจจะมีการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณ ch_{i+1} หรือ ch_{i-1} ที่อยู่ในเซลล์ที่ติดกันได้ โดยในจุดที่ 2 และ 4 จะทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์ขึ้นเพียงช่องสัญญาณเดียว (จุดที่ 2 จะเกิดกับ ch_{i+1} และจุดที่ 4 จะเกิดกับ ch_{i-1}) แต่ในจุดที่ 1 3 และ 5 จะเป็นจุดที่เกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ขึ้นกับ 2 ช่องสัญญาณ เช่น จุดที่ 3 จะทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์กับช่องสัญญาณ ch_{i+1} และ ch_{i-1} พร้อมกัน เป็นต้น

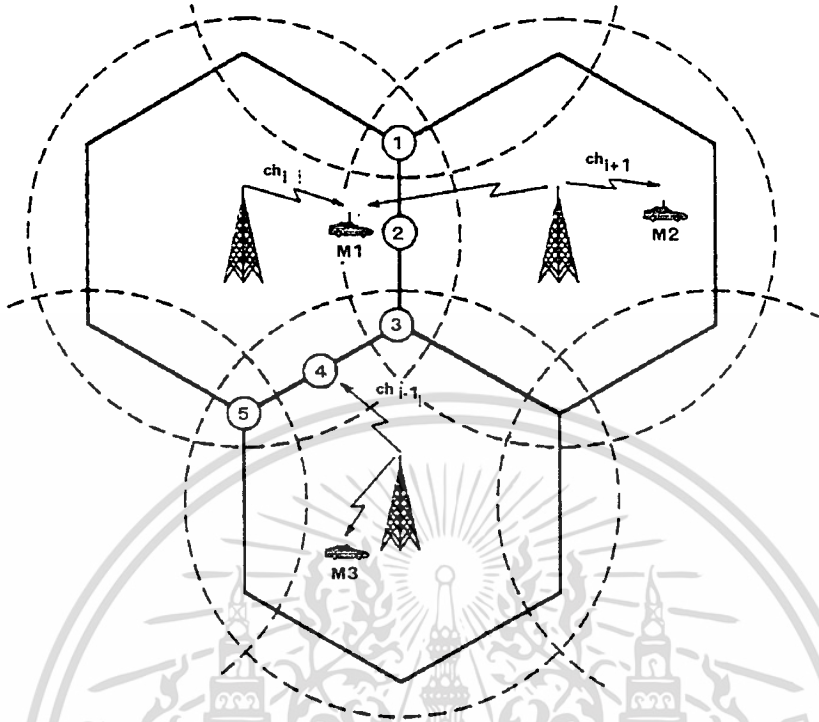
- การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่สถานีฐาน ดังในรูปที่ 2.27 (ข) ลักษณะการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่สถานีฐานจะคล้ายคลึงกับการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ แต่จะเกิดเนื่องจากสถานีฐานสามารถรับสัญญาณจากช่องสัญญาณ ch_i (เป็นช่องสัญญาณที่อยู่ในเซลล์ที่ต้องการ) และสามารถรับสัญญาณจากช่องสัญญาณ ch_{i+1} และ ch_{i-1} ได้ (เป็นช่องสัญญาณที่อยู่ในเซลล์ข้างเคียง) ซึ่งทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณข้างเคียงขึ้น

2.5 การเปลี่ยนเซลล์ (Hand-off)

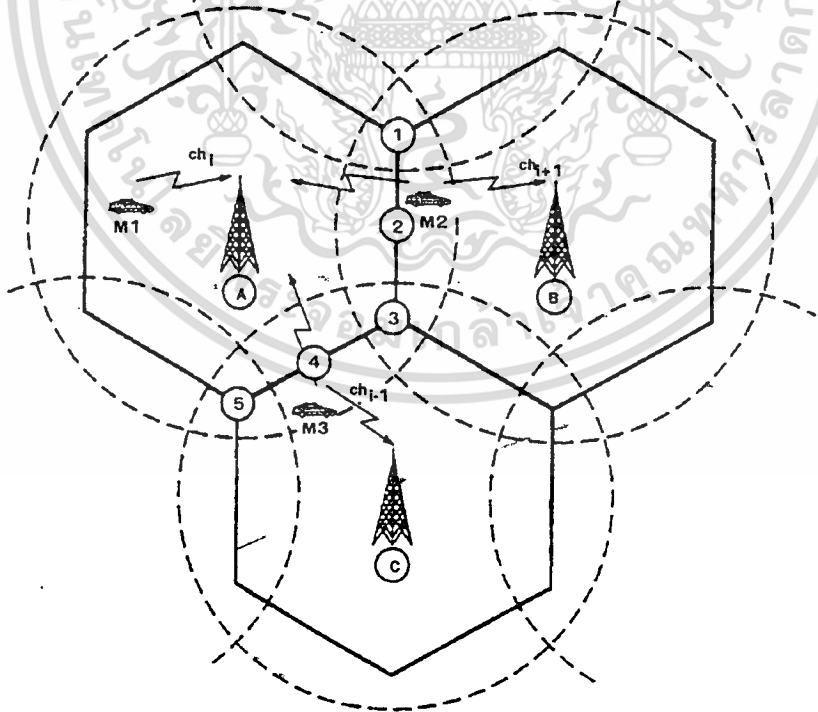
ในการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ เมื่อมีการเคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง โดยที่การติดต่อสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องตลอด ซึ่งจะต้องมีการเปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณของอีกเซลล์หนึ่ง กระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการเปลี่ยนเซลล์ (Hand-off) ดังแสดงในรูปที่ 2.28 เมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มต้นเรียกในเซลล์ของกลุ่มความถี่ f_1 โดยใช้ช่องสัญญาณที่ 1 (ch_1) แต่เมื่อมีการเคลื่อนที่จนกระทั่งเข้าไปยังพื้นที่ของเซลล์กลุ่มความถี่ f_2 เครื่องโทรศัพท์จะเปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณที่ 37 ของกลุ่มความถี่ f_2 โดยจะยกเลิกการใช้ช่องสัญญาณที่ 1 ของกลุ่มความถี่ที่ 1 ดังนั้นเมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ออกจากเซลล์หนึ่งไปยังเซลล์หนึ่งจะมีการเปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณของเซลล์ใหม่ กระบวนการเปลี่ยนเซลล์นี้จะไม่ใช่กระบวนการของผู้ใช้ แต่จะเป็นการทำงานของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่และสถานีฐาน ที่จะทำการตรวจสอบระดับของสัญญาณ และตัดสินใจว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ควรจะเปลี่ยนไปใช้เซลล์ใดที่อยู่ข้างเคียงกับเซลล์เดิม

กระบวนการเปลี่ยนเซลล์จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.29 ซึ่งจะมีกระบวนการดังนี้

1. ขณะที่เครื่องโทรศัพท์มีการใช้งานอยู่ในเซลล์หนึ่ง สถานีฐานจะทำการตรวจสอบความแรงของสัญญาณจากเครื่องโทรศัพท์ เมื่อเคลื่อนที่ไปยังบริเวณขอบของเซลล์ สัญญาณจะลดลงจนถึงค่าที่กำหนด ทางชุมสาย MTSO จะสั่งให้สถานีฐานทำการตรวจสอบระดับสัญญาณ จากเครื่องโทรศัพท์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

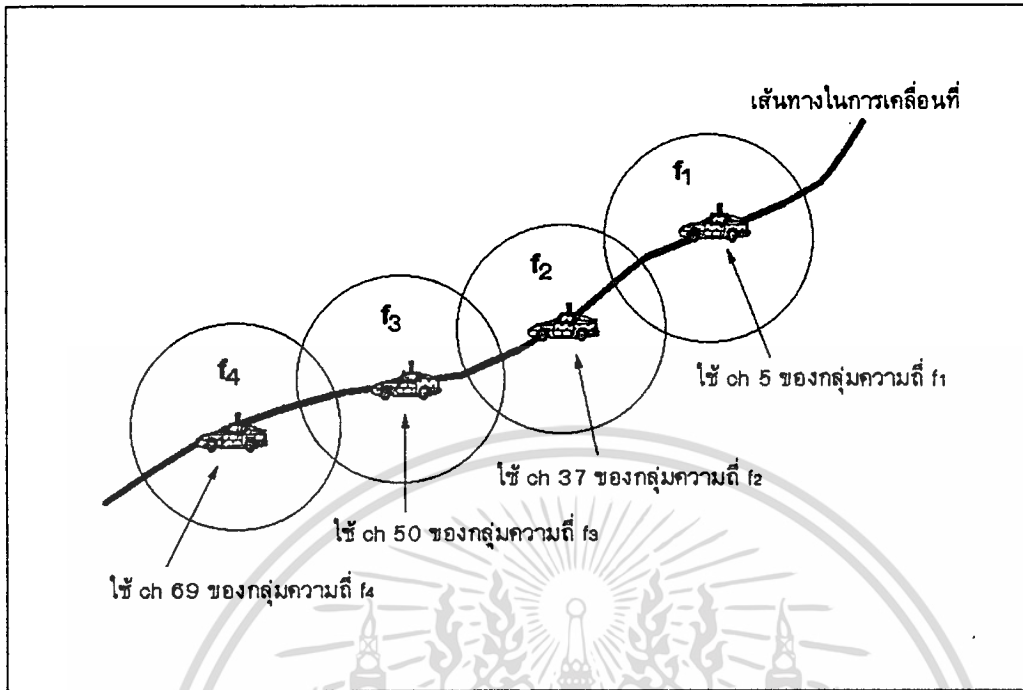


ก) การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่



ข) การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ ที่สถานีฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 2.27 การเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์จากช่องสัญญาณข้างเคียง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 การเปลี่ยนเซล (Hand-off)

ค้นหาเซลที่ได้รับสัญญาณดีที่สุด เพื่อจะเปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณของเซลนั้น

2. ชุมสาย MSTO จะทำการกำหนดช่องสัญญาณที่เหมาะสมให้ในเซลใหม่ หลังจากนั้น เครื่องโทรศัพท์จะทำการปรับความถี่ ไปใช้ช่องสัญญาณใหม่ที่กำหนด

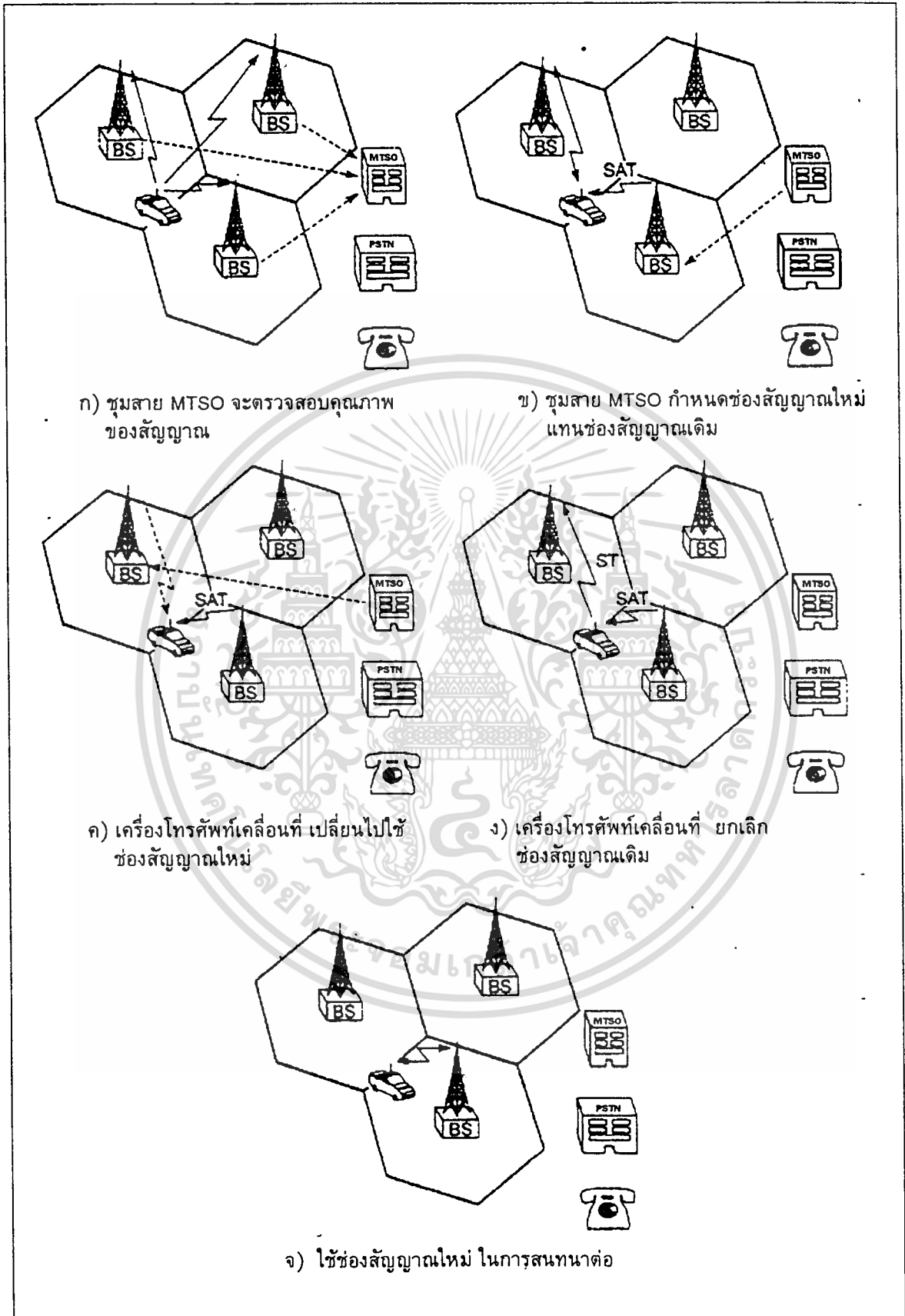
3. เครื่องโทรศัพท์จะส่งสัญญาณโทนไปยังเซลเดิม เพื่อยกเลิกการใช้ช่องสัญญาณของเซลเดิม ดังนั้นเครื่องโทรศัพท์จึงสามารถใช้งานในเซลใหม่ต่อไปได้

เทคนิคของการเปลี่ยนเซล สามารถจะกระทำได้หลายวิธีดังนี้

2.5.1 การหน่วงเวลาการเปลี่ยนเซล (Delaying Hand-off)

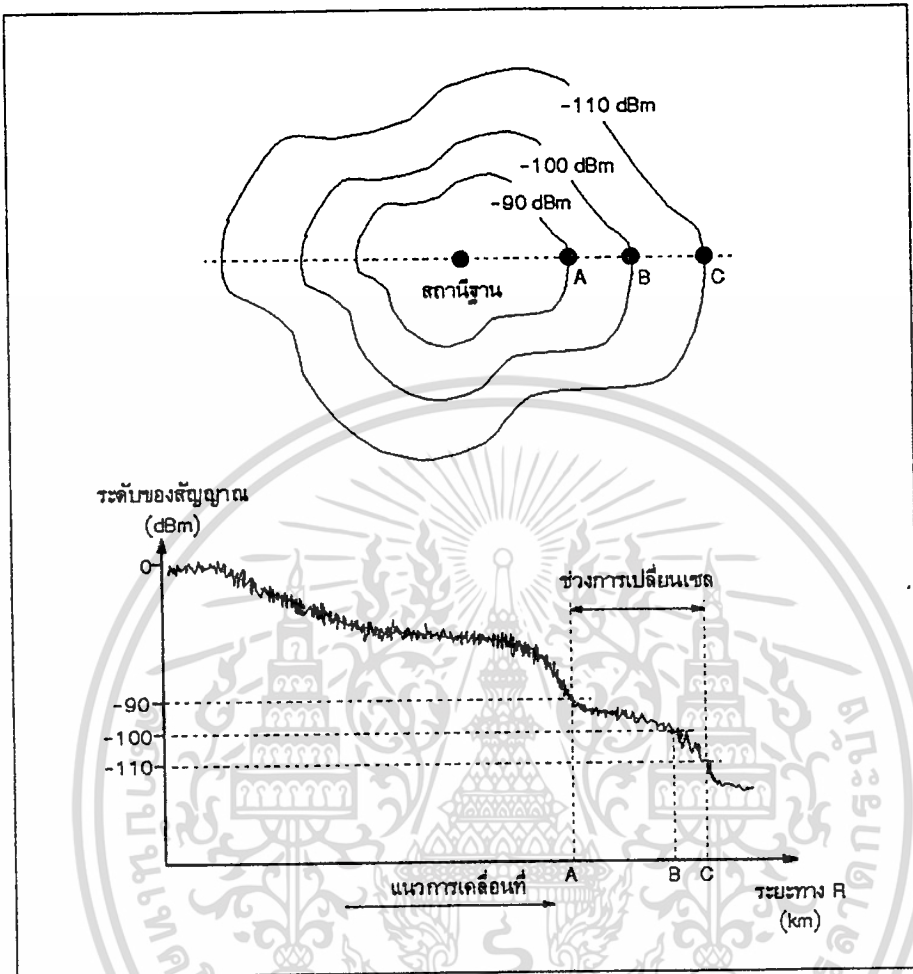
ในเทคนิคการเปลี่ยนเซลนี้จะจัดการเปลี่ยนเซลออกเขียน 2 ระดับ เพื่อเป็นการเตรียมพร้อมก่อนจะมีการเปลี่ยนเซล ซึ่งถือว่าเป็นกรณีหน่วงเวลาของการเปลี่ยนเซล ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนเซลผิดพลาดน้อยมาก การทำงานของเทคนิคนี้คือ จะกำหนดระดับเทรชโฮลของการเปลี่ยนเซล เป็น 2 ระดับ คือ ระดับ L1 และ L2 ดังแสดงในรูปที่ 2.30 ซึ่งจะแสดงระดับของสัญญาณโดยเฉลี่ยที่บันทึกได้จากเครื่องรับเมื่อมีการเคลื่อนที่ออกจากเซล โดยระดับสัญญาณจะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งต่ำกว่าระดับเทรชโฮลแรก (L1) การเปลี่ยนเซลก็จะเริ่มต้นขึ้น แต่ถ้าเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ในเซลเดิมแต่เป็นจุดโฮล (จุดที่มีระดับสัญญาณต่ำภายในเซล) ทำให้ไม่สามารถจัดช่องสัญญาณให้ได้ กรณีนี้ก็จะยังไม่เปลี่ยนเซล แต่จะใช้ช่องสัญญาณเดิม จนกว่าระดับของสัญญาณจะต่ำกว่าระดับเทรชโฮลที่ 2 (L2) การเปลี่ยนเซลจะกระทำโดยไม่มีเงื่อนไข คือ ถ้ามีช่องสัญญาณอื่น ๆ ที่ใช้ได้

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 กระบวนการเปลี่ยนเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 แสดงการบังคับการเปลี่ยนเซลล์

บังคับให้เกิดการเปลี่ยนเซลล์จากการทำงานปกติของการเปลี่ยนเซลล์ เช่น ปกติจะกำหนด ระดับ
 เทอร์ชไฮลไว้ที่ -100 dBm ก็อาจจะเปลี่ยนระดับเทอร์ชไฮลไว้ที่ -95 dBm หรือ -110 dBm
 เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.31 ที่แสดงถึงขนาดของเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการบังคับให้มีการ
 แสนด้ออฟในระดับเทอร์ชไฮลที่แตกต่างกัน จากในรูปปกติจะใช้การเปลี่ยนเซลล์ที่ระดับ -100
 dBm ซึ่งจะมีขอบเขตของเซลล์ที่จุด B แต่เมื่อบังคับให้มีการเปลี่ยนเซลล์ที่ระดับ -95 dBm จะทำให้
 ขอบเขตของเซลล์มีรัศมีที่แคบลงอยู่ที่จุด A ซึ่งจะมีขนาดของเซลล์ที่เล็กลง ในทางตรงกันข้ามถ้า
 บังคับให้มีการเปลี่ยนเซลล์ที่ -110 dBm จะทำให้ขอบเขตของเซลล์อยู่ที่จุด C ซึ่งจะทำให้เซลล์มีขนาด
 ที่ใหญ่ขึ้น

บางกรณีที่สภาพของกราฟฟิคในเซลล์มีความหนาแน่นมาก ชุมสาย MTSO ก็จะสามารถ
 บังคับให้เกิดการเปลี่ยนเซลล์กับเครื่องโทรศัพท์ที่อยู่บริเวณขอบเซลล์ ทั้งที่ยังไม่มีการร้องขอการ
 เปลี่ยนเซลล์เกิดขึ้นก็ตาม เพื่อที่จะระบายสภาพกราฟฟิคไปยังเซลล์ข้างเคียง ทำให้สภาพกราฟฟิค
 ของเซลล์นั้นลดความหนาแน่นลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การจัดคิวการเปลี่ยนเซล (Queuing of Handoffs)

การจัดคิวการเปลี่ยนเซลจะเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนเซลเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน ชุมสาย MTSO จะทำหน้าที่ในการจัดคิวการเปลี่ยนเซลที่เกิดขึ้น ซึ่งถ้าไม่มีการจัดคิวขึ้นอาจจะทำให้การเปลี่ยนเซลไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากมีการร้องขอการเปลี่ยนเซลเกิดขึ้นพร้อมกัน หรือช่องสัญญาณในเซลใหม่ที่จะมีการเปลี่ยนเซลไปใช้ไม่มีช่องสัญญาณว่าง ดังนั้นการเปลี่ยนเซลจึงมีความสัมพันธ์กับการโทรออกที่จำเป็นร้องขอช่องสัญญาณเช่นเดียวกัน แต่การจัดคิวของชุมสาย MTSO จะให้ความสำคัญกับการเปลี่ยนเซลที่สูงกว่าการโทรออก เพราะจะต้องรักษาการเรียกให้สามารถคงดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง การจัดคิวจึงสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะดังนี้

1) ไม่มีการจัดคิว(Bo) จะทำให้ความน่าจะเป็นของการเกิดบล็อกของการโทรออกหรือการเปลี่ยนเซลมีค่าเป็น

$$Bo = (a_n/N!) \cdot P(o) \quad (2.15)$$

โดย

$$Po = \left(\sum_{n=1}^N \frac{a^n}{n!} \right)^{-1} \quad (2.16)$$

2) มีการจัดคิวการโทรออกแต่ไม่จัดคิวการเปลี่ยนเซล ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการโทรออก (B_{oq}) จะมีค่าเป็น

$$Boq = (b_1/N)^{M_1} Pq(o) \quad (2.17)$$

โดย

$$Pq(o) = \left(N! \sum_{n=1}^N \frac{a^{n-N}}{n!} + \frac{1 - (b_1/N)^{M_1+1}}{1 - (b_1/N)} \right)^{-1} \quad (2.18)$$

ส่วนความน่าจะเป็นของการบล็อกการเปลี่ยนเซล (Boh) จะมีค่าเป็น

$$Boh = \left(\frac{1 - (b_1/N)^{M_1+1}}{1 - (b_1/N)} \right) Pq(o) \quad (2.19)$$

3) มีการจัดคิวการเปลี่ยนเซลแต่ไม่มีการจัดการโทรออก ค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเปลี่ยนเซลจะมีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$B_{hq} = (b_2/N)^{M_2} Pq(o) \quad (2.20)$$

และความน่าจะเป็นของการบล็อกการเปลี่ยนเซลจะเป็น

$$B_{ho} = \left(\frac{1 - (b_2/N)^{M_2+1}}{1 - (b_2/N)} \right) Pq(o) \quad (2.21)$$

พารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีการนำมาใช้ในสมการจะเป็นดังนี้

- $1/\mu$ - ค่าเฉลี่ยของการเรียก (การโทรออกและการเปลี่ยนเซล) แต่ละเซล
- M_1, M_2 - ขนาดในการจัดคิวสำหรับการโทรออกและการเปลี่ยนเซล (ตามลำดับ)
- N - จำนวนของช่องสัญญาณ
- λ_1, λ_2 - จำนวนครั้งการโทรออกและการเปลี่ยนเซลใน 1 วินาที (ตามลำดับ)
- $a = (\lambda_1 + \lambda_2) / \mu$, $b_1 = \lambda_1 / \mu$, $b_2 = \lambda_2 / \mu$

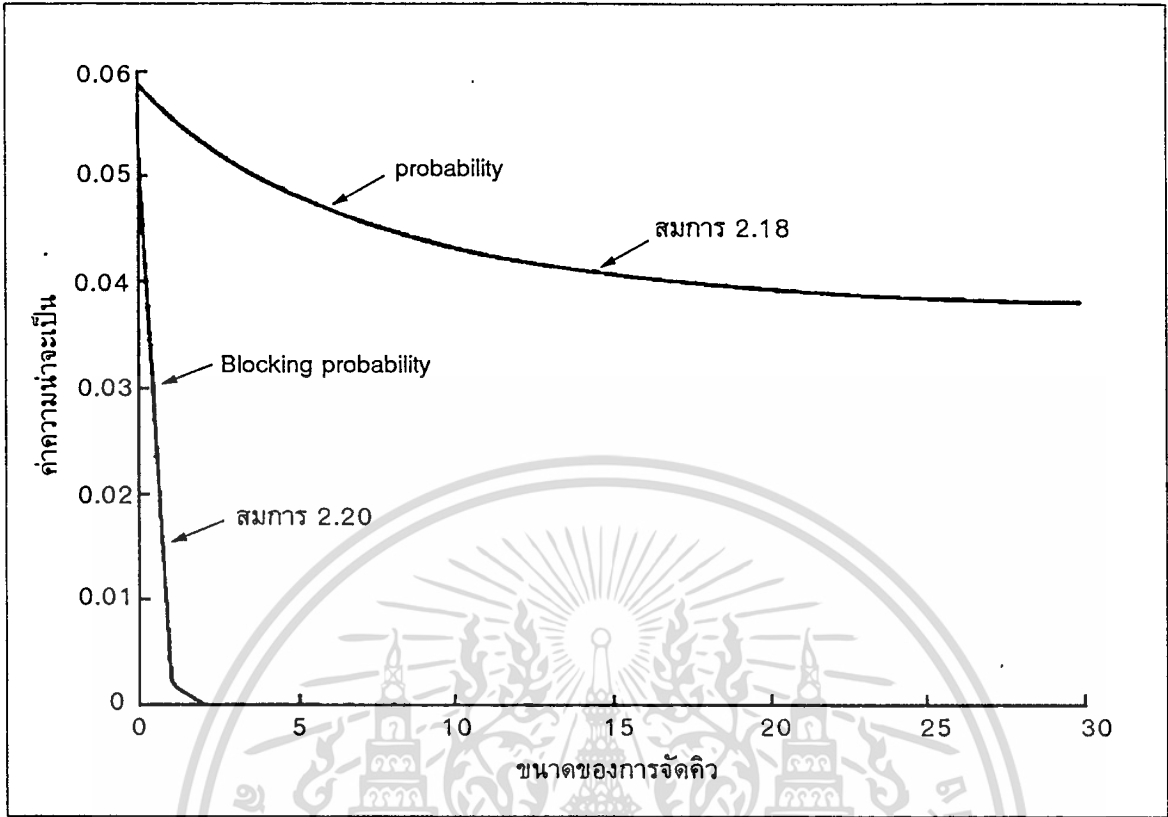
เมื่อนำค่าที่ได้จากสมการที่ 2.15 - 2.21 พล็อตลงบนกราฟ โดยใช้พารามิเตอร์ดังนั้น จำนวนช่องสัญญาณ (N) เท่ากับ 70 ช่องสัญญาณ ค่าเฉลี่ยในการเรียกแต่ละครั้ง 101 วินาที จำนวนการโทรออก (λ_1) เท่ากับ 2270 ครั้งต่อชั่วโมง และจำนวนการเปลี่ยนเซล (λ_2) เท่ากับ 80 ครั้งต่อชั่วโมง เมื่อแทนค่าลงในสมการจะสามารถพล็อตกราฟได้ตั้งแต่รูปที่ 2.32 และ 2.33

จากรูปที่ 2.32 จะเห็นว่าเมื่อมีการจัดคิวการเปลี่ยนเซล จะทำให้ความน่าจะเป็นในการบล็อกลดลงอย่างมาก แต่จะมีผลกระทบกับความน่าจะเป็นของการบล็อกการโทรออก จากรูปที่ 2.33 น้อยมาก ดังนั้นการจัดคิวการเปลี่ยนเซลมีความสำคัญมากในการลดการบล็อกการเปลี่ยนเซลที่อาจเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

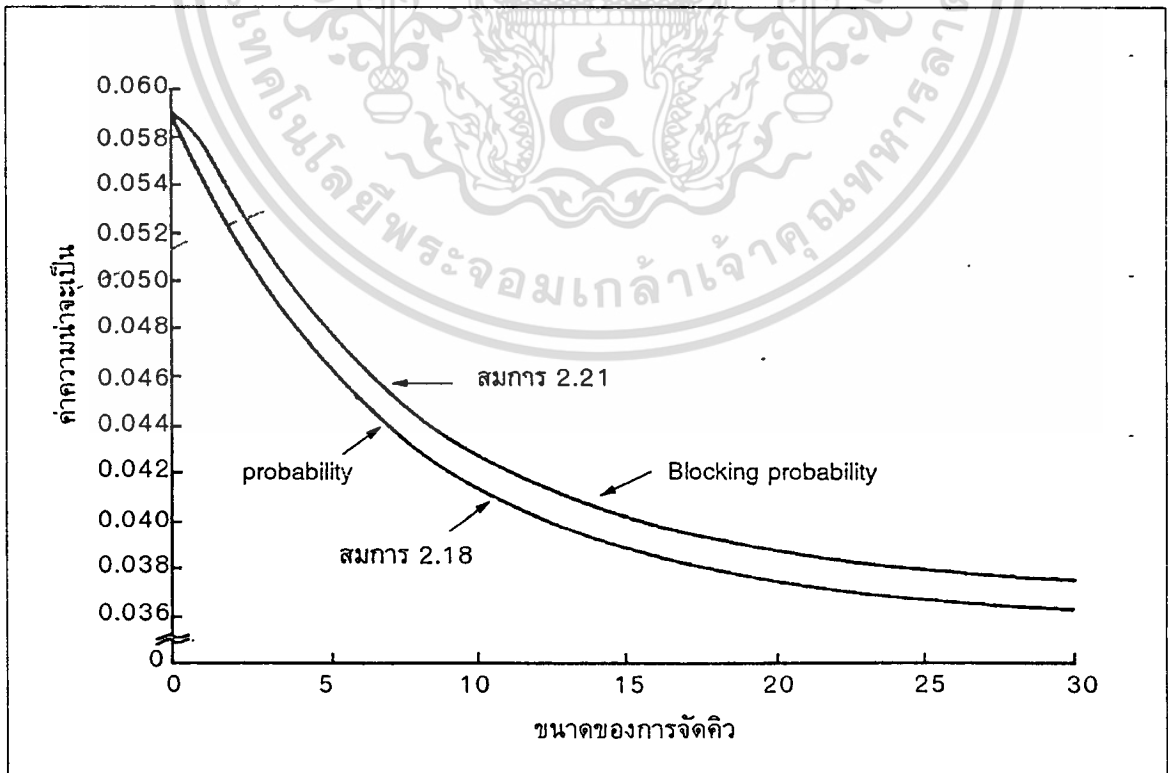
2.5.4 การเปลี่ยนเซลโดยการเปรียบเทียบกำลังงาน

การเปลี่ยนเซลนี้จะใช้หลักการเปรียบเทียบผลต่างของกำลังงานที่ได้รับจากเซลใหม่ที่เสนอเข้ามาในการเปลี่ยนเซลเทียบกับกำลังงานที่ได้รับจากเซลเดิมที่ใช้อยู่ ซึ่งได้เป็นค่าผลต่าง Δ และจะใช้ค่าผลต่าง Δ นี้ในการตัดสินใจในการเปลี่ยนเซล ซึ่งในวิธีนี้ไม่ต้องคำนึงถึงขอบของเซล และเป็นการป้องกันการเปลี่ยนเซลที่ทำให้การเรียกขาดหายได้ดี เนื่องจากเกณฑ์ของสายอากาศของแต่ละเครื่องมีค่าที่แตกต่างกัน ทำให้ระดับสัญญาณที่ได้รับแต่ละเครื่องจะแตกต่างกัน แม้ว่าเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะอยู่ในตำแหน่งเดียวกันก็ตาม หรือบางครั้งเครื่องโทรศัพท์อยู่ในจุดที่มีระดับสัญญาณต่ำ ซึ่งถ้าปกติแล้วเมื่อเครื่องโทรศัพท์ได้รับสัญญาณต่ำกว่าที่กำหนดก็จะเกิดการเปลี่ยนเซล ซึ่งอาจจะทำให้สายหลุด (สัญญาณขาดหาย) ได้ เพราะไม่มีสัญญาณจากเซลอื่นมารองรับต่อไป เมื่อใช้เทคนิคการเปลี่ยนเซลโดยการเปรียบเทียบกำลังงาน เมื่อเข้าไปอยู่ในจุดที่มีระดับสัญญาณต่ำ แต่เมื่อเปรียบเทียบกำลังงานแล้วมีค่าไม่เกิน 3 dB ก็จะไม่เกิดการเปลี่ยนเซล ซึ่งก็หมายความว่า จะยังคงใช้ช่องสัญญาณจากเซลเดิมต่อไป ดังในรูปที่ 2.34 ที่แสดงถึงระดับของสัญญาณจากทั้ง 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น โปรดอย่าเผยแพร่ไปโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการเปลี่ยนเซล
เมื่อมีการจัดคิวการเปลี่ยนเซล



รูปที่ 2.33 กราฟแสดงค่าความน่าจะเป็นของการบล็อกการโทรออก
เมื่อมีการจัดคิวการเปลี่ยนเซล

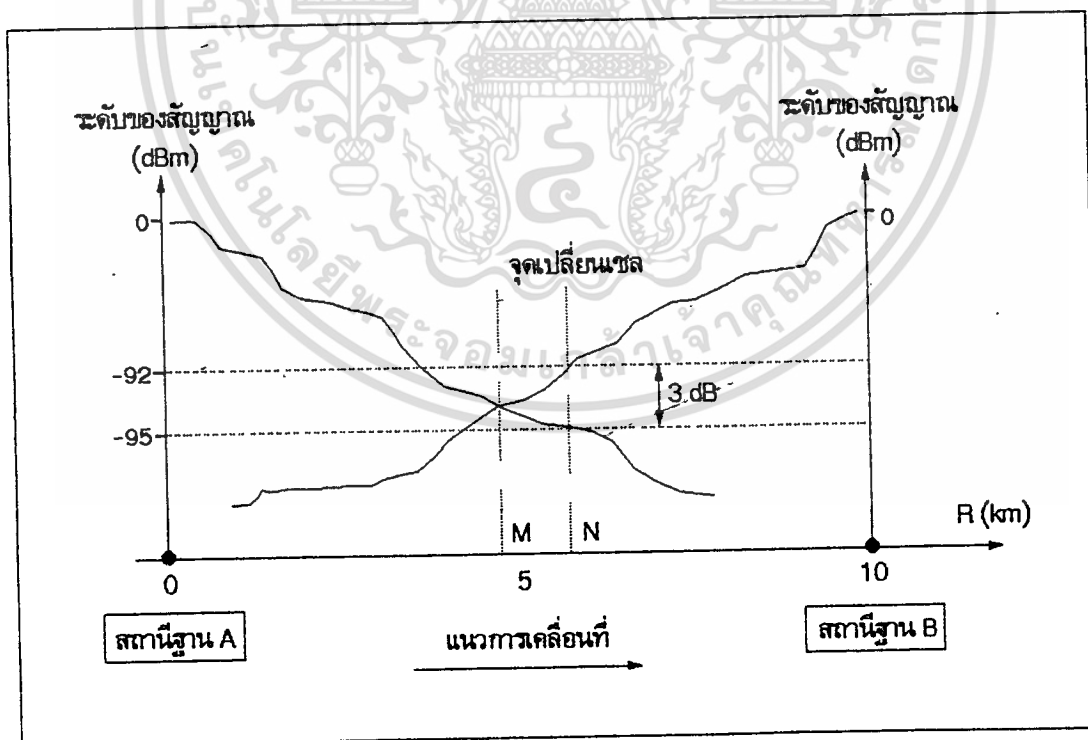
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีฐาน คือสถานีฐาน A และสถานีฐาน B เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มการใช้งานในขอบเขตของเซลล์ A และมีทิศทางเคลื่อนที่ไปทางสถานีฐาน B จะเห็นว่าระดับของสัญญาณจะมีค่าลดลงตามระยะทางที่เคลื่อนที่ เมื่อเคลื่อนที่มาถึงจุด M เครื่องโทรศัพท์จะเริ่มตรวจระดับของสัญญาณจากเซลล์ข้างเคียง และทำการเปรียบเทียบกำลังงานกับสัญญาณจากเซลล์เดิม ซึ่งก็จะได้ค่าผลต่าง ของกำลังงาน

$$\Delta = \text{ระดับสัญญาณจากสถานีฐานข้างเคียงที่มีความแรงที่สุด} - \text{ระดับสัญญาณจากสถานีฐานเดิม}$$

จากค่าของ Δ นี้จะสามารถที่จำกำหนดสถานะการเปลี่ยนเซลล์ได้ ดังเช่น

- $\Delta < -3 \text{ dB}$ ไม่มีการเปลี่ยนเซลล์
- $-3 \text{ dB} < \Delta < 0 \text{ dB}$ เริ่มตรวจดูระดับของสัญญาณจากเซลล์ข้างเคียง
- $1 \text{ dB} < \Delta < 3 \text{ dB}$ เตรียมการเปลี่ยนเซลล์
- $\Delta \geq 3 \text{ dB}$ มีการเปลี่ยนเซลล์



รูปที่ 2.34 แสดงการเปลี่ยนเซลล์โดยการเปรียบเทียบกำลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากค่าตัวอย่างที่ใช้ในการเปลี่ยนเซล เมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่มาถึงจุด N ในรูปที่ 2.34 ซึ่งค่าผลต่างของ Δ จะมีค่าเท่ากับ 3 dB ก็จะเริ่มการเปลี่ยนเซลไปใช้ช่องสัญญาณในเซล B แทนที่ แต่ถ้าในกรณีที่ไม่มีเซลอื่นมารองรับ การเปลี่ยนแปลงเซลก็จะยังไม่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นการป้องกันการเปลี่ยนเซลแล้วเกิดสายหลุดได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

เทคนิคต่าง ๆ ในการออกแบบเซลล์ของ โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า

พื้นที่การให้บริการของโทรศัพท์เคลื่อนที่จะขึ้นอยู่กับการครอบคลุมพื้นที่ของเซลล์ต่าง ๆ ที่มีการจัดในแบบเซลลูล่า ดังนั้นการที่จะจัดเซลล์ให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ต่อเนื่องกันจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า การออกแบบเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า จะต้องคำนึงถึงหลักของการแพร่กระจายคลื่นเป็นสำคัญ เพื่อที่จะทำการหาขนาดและตำแหน่งของเซลล์ให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ให้บริการได้อย่างเหมาะสม การลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่จะถูกนำมาพิจารณาเพื่อหาขอบเขตของเซลล์ เนื่องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้การสื่อสารผ่านทางคลื่นวิทยุ ค่าการลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นจากหลายส่วน เช่น การลดทอนจากการแพร่กระจายคลื่น การลดทอนจากสิ่งก่อสร้าง การลดทอนจากสภาพทางภูมิศาสตร์ ฯลฯ ทำให้ขอบเขตของเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นแม้ว่าตามหลักทฤษฎีแล้ว การออกแบบเซลล์จะสามารถครอบคลุมพื้นที่การให้บริการได้ทั้งหมด แต่ในความเป็นจริงแล้วเซลล์ที่ได้ไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ตามต้องการ อาจเกิดช่องว่างระหว่างเซลล์หรือมีการเหลื่อมล้ำเข้าไปในเซลล์ข้างเคียงมากเกินไป ดังนั้นในการออกแบบเซลล์ในระบบโทรศัพท์จึงจะต้องใช้การออกแบบตามหลักการทางทฤษฎี แล้วจะตื่อนำผลสรุปจากการใช้งานจริงมาพิจารณาร่วมกัน เพื่อให้ได้เซลล์ใกล้เคียงกับความต้องการมากที่สุด

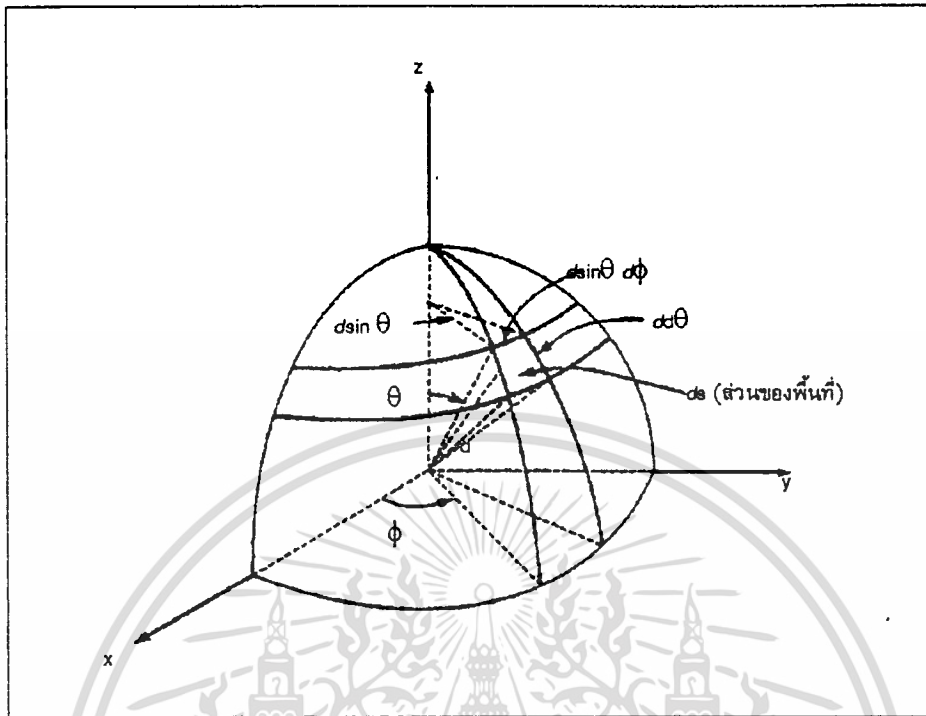
3.1 หลักการแพร่กระจายคลื่น

การสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้การสื่อสารทางคลื่นวิทยุ ที่ใช้การแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปในอากาศ ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้จะเป็นค่าส่วนกลับกำลังสองกับระยะทางตามทฤษฎีของ inverse-square law ถ้าสมมุติให้แหล่งกำเนิดสัญญาณเป็นแบบไอโซโทรปิก (Isotropic) การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเป็นลักษณะรอบทิศทาง ถ้ากำหนดให้กำลังงานที่ส่งออกไปมีค่าเท่ากับ P_T การแพร่กระจายรอบทิศทางสามารถพิจารณาเป็นลักษณะของวงกลมรอบๆ แหล่งกำเนิดสัญญาณที่มีรัศมีเป็น d ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จึงทำให้กำลังงานที่จุดใดๆ สามารถเทียบได้กับพื้นที่ส่วนเล็กๆ (A) ของพื้นผิวทรงกลม ค่าความหนาแน่นของกำลังงานจะเท่ากับ

$$P_D = P_T / 4\pi d^2 \quad (3.1)$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การแพร่กระจายคลื่นจากแหล่งกำเนิดแบบไอโซทรอปิก

ในทางปฏิบัติสายอากาศจะต้องมีคุณสมบัติของทิศทางในการรับหรือแพร่กระจายคลื่น ซึ่งหมายถึงจะกระจายคลื่นได้มากในทิศทางหนึ่งและน้อยในอีกทิศทางหนึ่ง อัตราการขยายกำลังของสายอากาศต่อกำลังงานของสายอากาศ ที่กระจายรอบทิศทางในระยะทางที่เท่ากัน และมีกำลังอินพุต เท่ากัน สมมติให้ G_t คือเกนการขยายกำลังของสายอากาศจากเครื่องส่ง ดังนั้นความหนาแน่นกำลังงานในทิศทางของการแพร่กระจายจะได้เป็น

$$P_D = P_t G_t / 4\pi d^2 \quad (3.2)$$

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

$$P_r = (P_t G_t / 4\pi d^2) \cdot A_{eff} \quad (3.3)$$

ในสายอากาศใดๆ ก็ตาม อัตราส่วนของการขยายสูงสุดต่อพื้นที่เอฟเฟกทีฟ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน $A_{eff}/G_t = r \lambda^2 / 4\pi$ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (3.4) การคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ λ คือความยาวคลื่นของคลื่นที่แพร่กระจาย ถ้า G_r คือเกนการขยายกำลังของสายอากาศรับ จากสมการที่ 3.3 และ 3.4 จะได้

$$P_r/P_t = G_r G_t (\lambda / 4\pi d^2)^2 \quad (3.5)$$

สมการนี้เป็นสมการพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นในบรรยากาศปกติ ค่าความถี่จะมีหน่วยเป็น MHz และระยะทาง d เป็นกิโลเมตร จากความสัมพันธ์ของ $\lambda f = c$ เมื่อแทนในสมการที่ 3.5 จะได้

$$P_r/P_t = G_r G_t (0.57 \times 10^{-3} / (d.f)^2) \quad (3.6)$$

จากสมการที่ 3.6 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ dB คือ

$$(P_r/P_t)_{dB} = (G_t)_{dB} + (G_r)_{dB} - (32.44 + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f) \quad (3.7)$$

อัตราส่วนของกำลังงานที่รับได้กับกำลังงานที่ส่ง (โดยใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิก ค่าเกนของ G_r และ G_t จะมีค่าเท่ากับ 1) จะเป็นค่าการสูญเสียของการแพร่กระจายคลื่น (L) ดังนั้นจะได้

$$L = 32.44 + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f \quad (3.8)$$

3.2 ระดับสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่

ในการส่งสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ออกไปยังเครื่องรับ ช่วงที่คลื่นเดินทางจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ จะต้องผ่านสิ่งต่างๆที่อยู่ในบริเวณนั้น ที่จะมีสภาพแตกต่างกันในแต่ละสถานที่ ดังนั้นเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่ไปยังจุดต่างๆ สภาพแวดล้อมต่างๆก็จะเปลี่ยนแปลงไปตลอด จึงทำให้ระดับสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ อยู่ตลอดเวลา

ลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นจะเกิดผลตามลักษณะความยาวคลื่นของความถี่ที่ใช้ในการกระจายสัญญาณ เนื่องจากสิ่งก่อสร้างต่างๆที่มนุษย์สร้างขึ้นจะมีขนาดที่ต่างกันหลายขนาด ซึ่งถ้าขนาดของสิ่งก่อสร้างเหล่านี้มีขนาดเท่ากับความยาวคลื่นที่แพร่กระจาย ก็จะทำให้การแพร่กระจายของคลื่นเปลี่ยนแปลงออกไปจากเดิม เช่น เกิดการแตกกระจายของคลื่น (scatter) และการสะท้อนของคลื่น (reflect) เป็นต้น ดังนั้นค่าระดับของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะต้องคำนึงถึงสภาพแวดล้อมของการแพร่กระจายคลื่นของโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

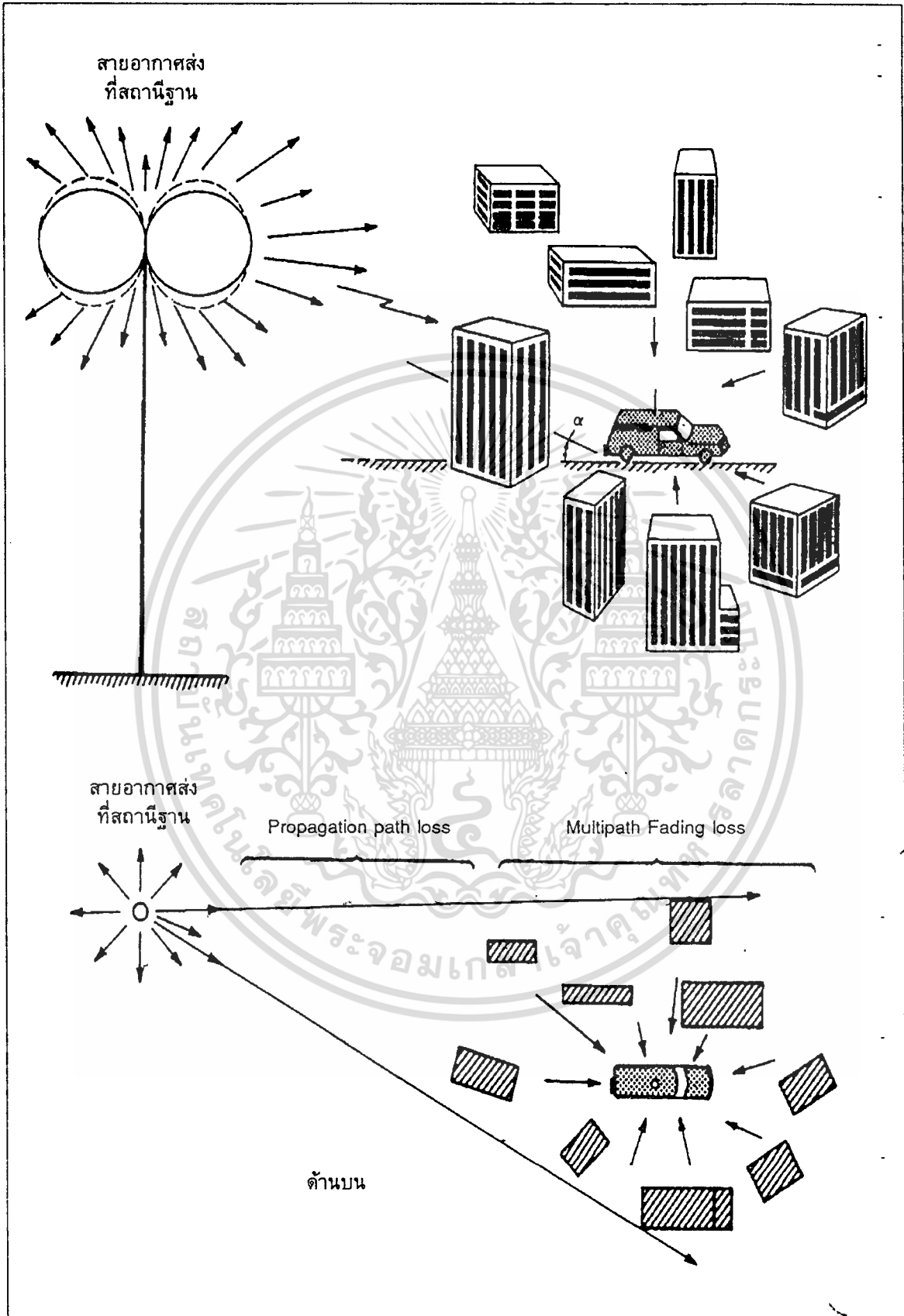
ดังนั้นการแพร่กระจายคลื่นของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในสภาพแวดล้อมข้างต้น จะทำให้เราสามารถแยกคลื่นที่เดินทางไปถึงเครื่องรับได้ 2 ประเภท คือ คลื่นตรง (directed wave) และคลื่นสะท้อน (reflected wave) ดังในรูปที่ 3.2 เครื่องรับจะได้รับคลื่นตรงจากทิศทางเดียวและมีสัญญาณที่แรงที่สุด ส่วนคลื่นสะท้อนจะได้รับจากทุกทิศทางที่เข้ามาแต่จะมีสัญญาณที่อ่อนกว่า มีเฟสของคลื่นที่แตกต่างกันและเหมือนกัน ที่จะเป็นการเสริมกันหรือหักล้างกับคลื่นตรง ผลจากคลื่นสะท้อนนี้จะทำให้สัญญาณที่ได้รับมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ซึ่งเราเรียกลักษณะการเกิดแบบนี้ว่า การเฟดดิ้ง (fading)

ระดับของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะสามารถแสดงได้กับค่าฟังก์ชันของระยะทางหรือฟังก์ชันของเวลา ถ้าสมมติให้ค่าความสูงของสายอากาศที่ส่งและสายอากาศรับมีค่าคงที่ ลักษณะการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเป็นดังรูปที่ 3.3(ก) และระดับของสัญญาณที่ได้รับจะมีลักษณะดังในรูปที่ 3.3 (ข) โดยที่ระดับสัญญาณ $r(x)$ จะเปลี่ยนแปลงตามระยะทาง $s(x)$ ระดับของสัญญาณจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ เมื่อเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มเคลื่อนที่ออกจากสถานีฐาน ค่าระดับของสัญญาณจะมีความสัมพันธ์กับสภาพทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ และความเร็วของการเคลื่อนที่ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (หรือความเร็วของรถยนต์ที่เคลื่อนที่) เนื่องจากในแกนของเวลา ค่า $t = x/v$ โดยที่ v คือ ความเร็ว จึงสามารถที่จะแปลงไปสู่แกนของระยะทางได้ จากในรูปที่ 3.3 (ค) และ 3.3 (ง) เป็นระดับของสัญญาณที่ความเร็วต่างกัน ซึ่งก็คือ ระดับสัญญาณ $r_1(t)$ จะใช้ความเร็ว 48 km/h รูปที่ 3.3 (ค) และ $r_2(t)$ รูปที่ 3.3 (ง) โดยทั้งสองจะใช้สเกลของระยะทางที่เหมือนกัน จะเห็นว่าลักษณะของระดับของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งในรูปที่ 3.3 (จ) เป็นการแสดง ความสัมพันธ์ของความเร็วกับระดับของสัญญาณในแกนของเวลา

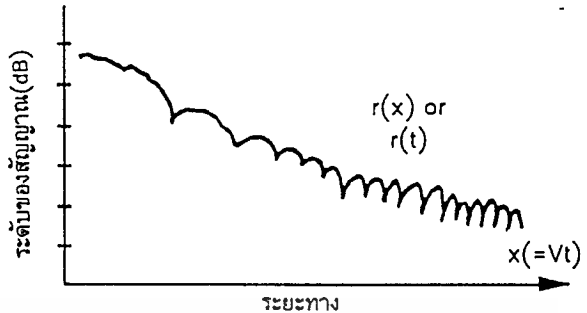
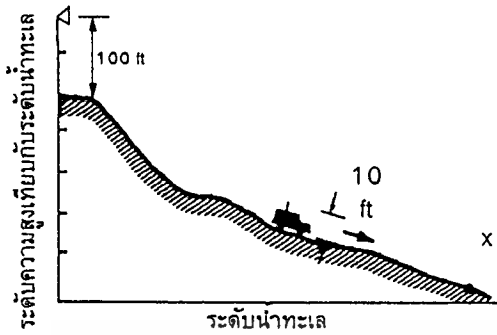
ลักษณะของระดับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ๆ ที่เป็นผลจากการเฟดดิ้งของสัญญาณ ซึ่งสามารถแยกแยะการเฟดดิ้งได้เป็น 2 ลักษณะคือ การเฟดดิ้ง long-term แทนด้วยสัญลักษณ์ $m(t)$ และนครเฟดดิ้ง short-term แทนด้วยสัญลักษณ์ $r_o(t)$ จากในรูปที่ 3.4 จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่า $m(t)$ และ $r_o(t)$ ดังนั้นค่าระดับสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ จากการเฟดดิ้ง $r(t)$ จะมีค่าเป็น

$$r(t) = m(t) \cdot r_o(t) \quad (3.9)$$

การเฟดดิ้ง long-term จะมีการเปลี่ยนแปลงตามสภาพพื้นผิวของพื้นดินระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน เช่น เนินเขา ภูเขา เป็นต้น ส่วนการเฟดดิ้ง short-term จะเป็นการเกิดเนื่องจากการสะท้อนและการแตกกระจายของคลื่น เมื่อคลื่นกระทบกับสิ่งก่อสร้างต่างๆ ที่มนุษย์สร้างขึ้นหรือสิ่งกีดขวางจากธรรมชาติ เช่น ต้นไม้ ป่า เป็นต้น ทำให้สัญญาณที่เครื่องรับมีมาจากหลาย ๆ ส่วน ซึ่งจะมีทั้งหักล้างและเพิ่มกับสัญญาณที่ได้รับโดยตรง

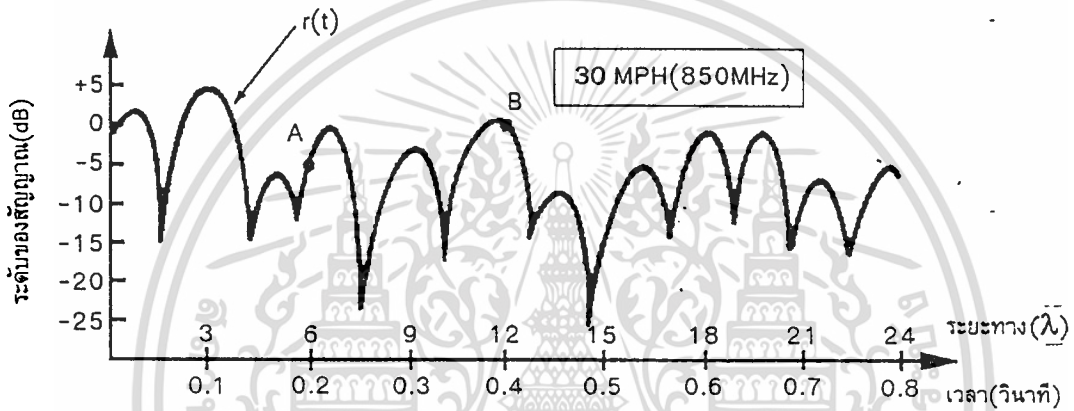


รูปที่ 3.2 สภาพแวดล้อมของการแพร่กระจายคลื่นของโทรศัพท์เคลื่อนที่
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนเพื่อการค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

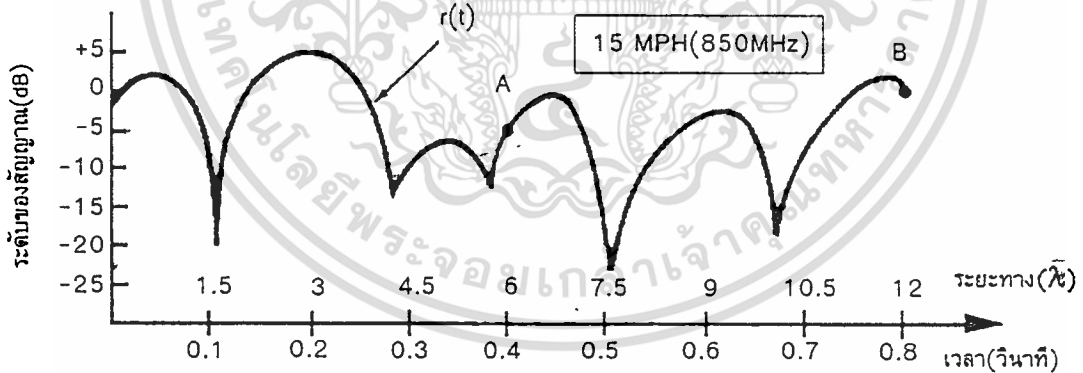


ก) แสดงระดับความสูงต่ำของพื้นที่ตามแนวการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่

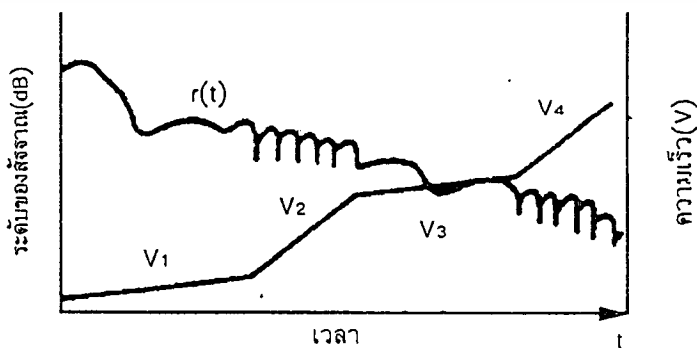
ข) แสดงระดับของสัญญาณที่ได้รับตามการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่



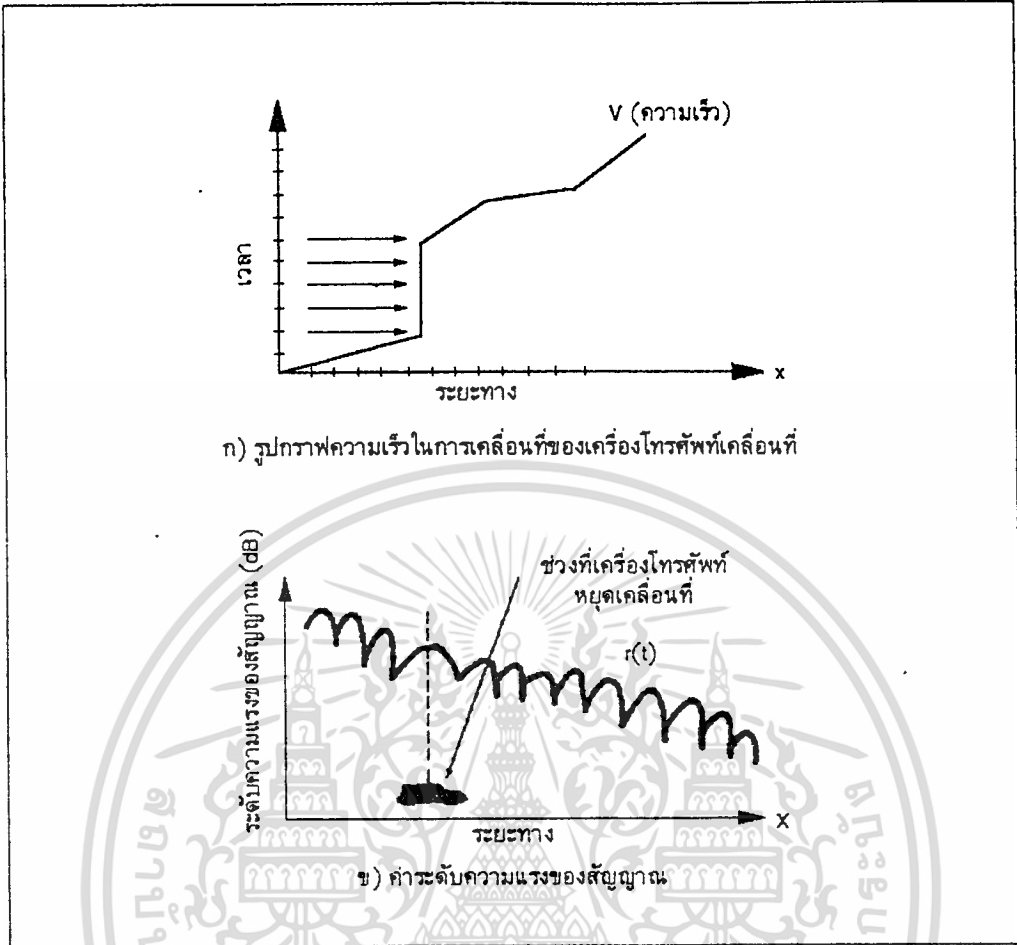
ค) แสดงระดับสัญญาณ เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่สูง



ง) แสดงระดับสัญญาณ เมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำ



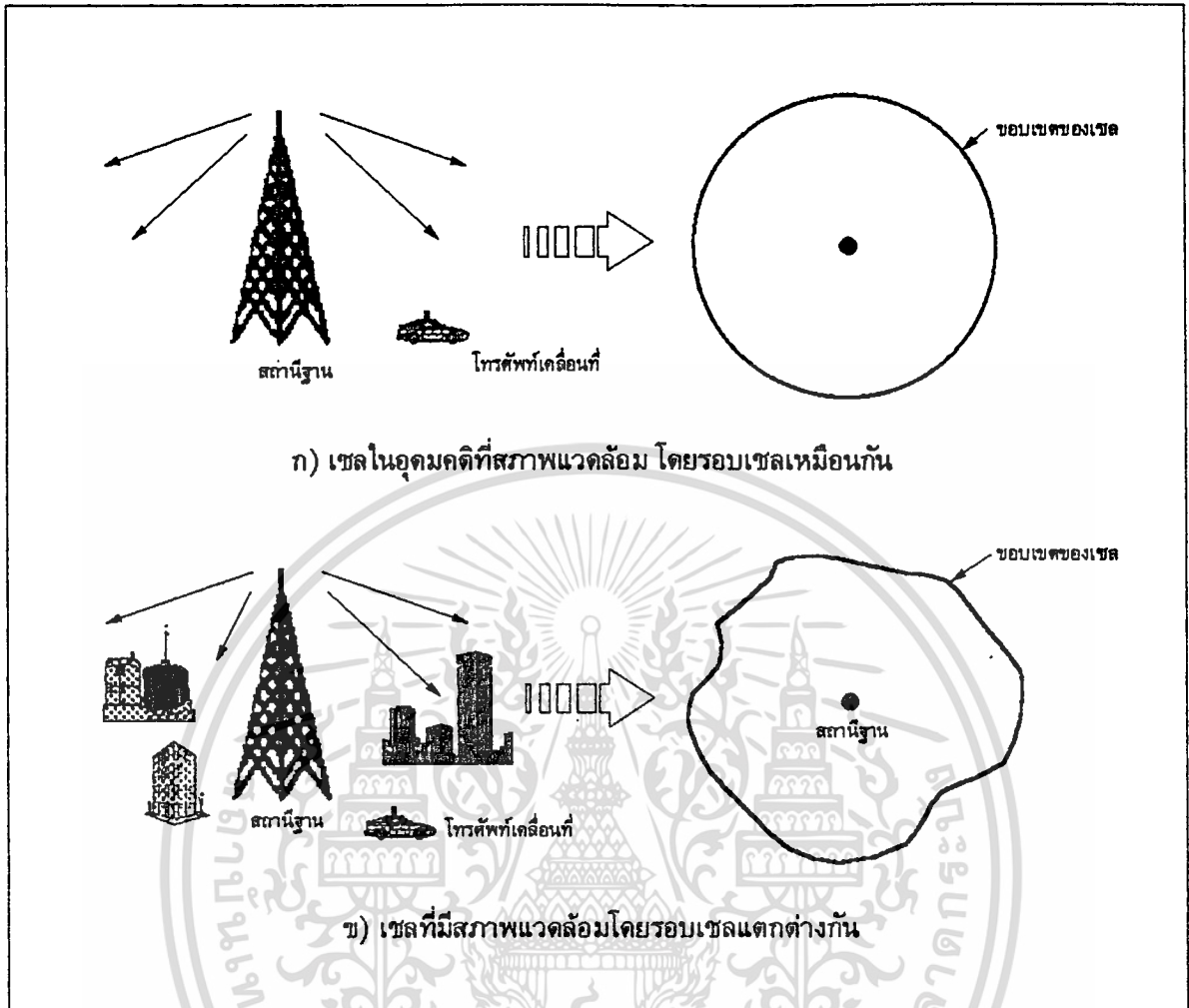
จ) แสดงความสัมพันธ์ของระดับสัญญาณเมื่อความเร็วเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 3.4 ลักษณะของการเฟดดิ้ง

3.3 การลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จำเป็นจะต้องใช้การส่งสัญญาณผ่านทางคลื่นวิทยุ ที่จะต้องมีการแพร่กระจายคลื่นออกไปในสภาพแวดล้อมของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งจะต้องเกิดการลดทอนหรือการสูญเสียของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตามสภาพการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะต้องมีการเคลื่อนที่ไปในพื้นที่ต่างๆที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน จึงเป็นผลทำให้การลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่มีค่าแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ เมื่อพิจารณาจากเซลล์หนึ่งๆแล้วจะเห็นว่าสภาพแวดล้อมโดยรอบของเซลล์จะแตกต่างกัน ทำให้การลดทอนของสัญญาณที่ส่งออกไปจากสถานีฐานมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นถ้าเราจะสมมุติให้ขอบเขตของเซลล์แต่ละเซลล์จะพิจารณาจากระดับความแรงของสัญญาณที่กำหนดไว้ค่าหนึ่ง(เป็นระดับความแรงของสัญญาณที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถติดต่อสื่อสารได้รู้เรื่อง ตามมาตรฐานของ CCIR แล้ว จะกำหนดไว้ที่ -100 dBm เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ส่งออกมาจากสายอากาศ) จะทำให้ขอบเขตของเซลล์ที่ได้จะเปลี่ยนแปลงไปจากเซลล์ตามอุดมคติที่สภาพแวดล้อมรอบๆเซลล์มีสภาพเหมือนกัน จึงทำให้เซลล์มีลักษณะเป็นวงกลม ดังรูปที่ 3.5(ก) ส่วนในกรณีที่มีสภาพแวดล้อมรอบๆเซลล์มีสภาพที่แตกต่างกัน จะทำให้ขอบเขตของเซลล์เปลี่ยนแปลงไป มีลักษณะที่ไม่เป็นวงกลม ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (ข) ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

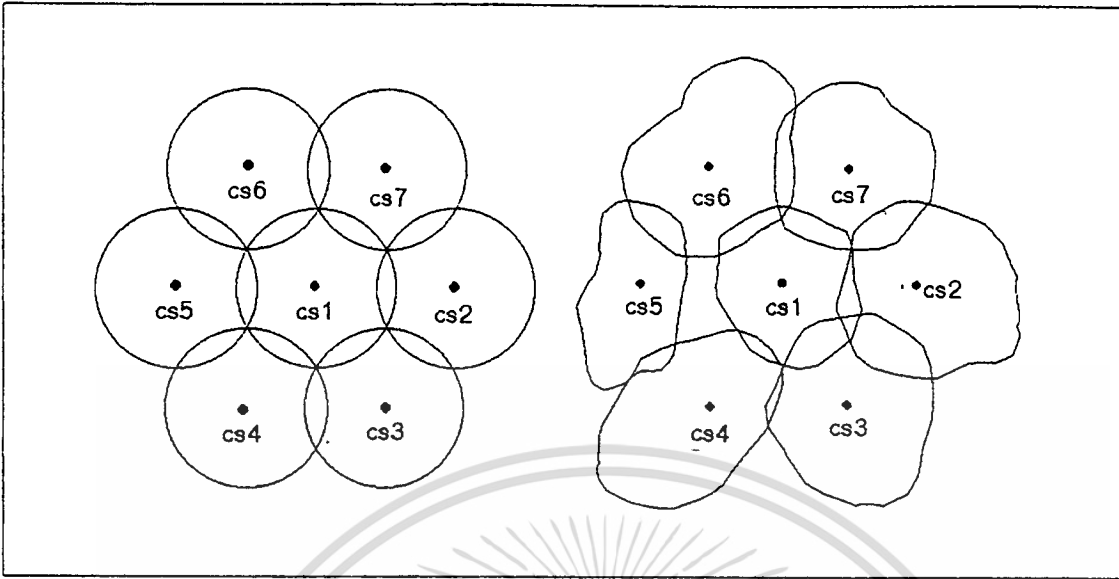


รูปที่ 3.5 ลักษณะขอบเขตของเซลล์

เมื่อพิจารณาดำเนินงานของเซลล์ตามรูปแบบการจัดเซลล์แล้ว จะเห็นว่าเซลล์ในอุดมคติจะสามารถเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ที่เหมาะสมโดยไม่เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 (ก) แต่เมื่อพิจารณาการเกิดการลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามสภาพแวดล้อม โดยที่มีการใช้ตำแหน่งของเซลล์เหมือนกัน จะเห็นว่าขอบเขตของช่องว่างระหว่างเซลล์ หรือเกิดการเหลื่อมล้ำเข้าไปในเซลล์ข้างเคียงมากเกินไป ดังในรูปที่ 3.6(ข) ซึ่งตรงพื้นที่นั้น ๆ จะเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการติดต่อสื่อสารในบริเวณนั้นขาดหายไป หรือเกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์เพิ่มขึ้น จนทำให้คุณภาพของเสียงไม่สามารถใช้สื่อสารได้(ฟังไม่รู้เรื่อง)

ดังนั้นในการหาขอบเขตของเซลล์ที่แท้จริง จึงจำเป็นต้องหาค่าการลดทอนของสัญญาณโดยรอบของเซลล์ ตามสภาพแวดล้อมของโทรศัพท์รอบๆ เซลล์นั้น การลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ต่างๆ คือความสูงของสายอากาศที่สถานีฐาน ความสูงของสายอากาศที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ความถี่ที่ใช้ ระยะทาง สภาพของสิ่งก่อสร้าง และสภาพของภูมิประเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของรอยต่อระหว่างเซลล์
ก) ในเซลล์ที่มีสภาพแวดล้อมโดยรอบเหมือนกัน
ข) ในเซลล์ที่มีสภาพแวดล้อมโดยรอบแตกต่างกัน

3.3.1 การลดทอนของสัญญาณจากการเดินทางของคลื่นในอากาศ (free space loss)

การลดทอนของสัญญาณจากการเดินทางของคลื่นในอากาศ เป็นค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการแพร่กระจายคลื่น ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงที่ส่งสัญญาณระหว่างสถานีฐานกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยไม่มีสิ่งกีดขวางทางเดินของสัญญาณ การคำนวณหาค่าการลดทอนนี้สามารถหาได้จากสมการที่ 3.10

$$L(\text{dB}) = 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d + 32.44 \quad (3.10)$$

โดยที่ใช้สายอากาศแบบไอโซโทรปิก ($G_t = G_r = 1$) ค่าความถี่เป็น MHz และระยะทางเป็นกิโลเมตร

3.3.2 การลดทอนของสัญญาณจากพื้นโลก

เมื่อพิจารณาถึงการแพร่กระจายของคลื่นในสภาพภูมิประเทศที่ราบเรียบ สัญญาณจากเครื่องส่งที่จะได้รับที่สายอากาศของเครื่องรับจะมีอยู่หลายทางด้วยกันคือ ได้รับทางคลื่นตรง และได้รับทางคลื่นที่สะท้อนกับพื้นดิน ดังนั้นสัญญาณที่ได้รับจึงเป็นสัญญาณที่เป็นผลรวมของสัญญาณคลื่นตรงกับคลื่นสะท้อน ซึ่งสัญญาณจากคลื่นตรงจะสามารถใช้การคำนวณจากสูตรการลดทอนของสัญญาณจากการเดินทางในอากาศในสมการที่ 3.10 ได้ ส่วนสัญญาณจากคลื่นสะท้อนจะมีแพคเตอร์หนึ่งเพิ่มขึ้นมาคือ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นดิน (ρ) แต่อย่างไรก็ตามสัญญาณ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ได้จากคลื่นสะท้อนจะทำให้เฟสเลื่อนไปจากสัญญาณที่ได้รับจากคลื่นตรงเท่ากับ $\Delta\phi$ สัญญาณที่สะท้อนขึ้นจากพื้นดินนั้นจะมีบางส่วน ที่มีการแพร่กระจายลงดินไป ซึ่งสัญญาณที่ลงดินนั้นจะมีค่าเป็น $(1-p)$ เป็นแฟคเตอร์ของการลดทอนสัญญาณจากพื้นดิน ดังนั้นค่าการลดทอนของสัญญาณในสภาพแวดล้อมที่ราบเรียบนี้จะมีค่าเป็น

$$L = G_r G_t (\lambda/4\pi d)^2 [1 + \rho e^{j\Delta\phi} + A(1-\rho)e^{j\Delta\phi} + \dots] \quad (3.11)$$

โดยที่ค่า ρ และ A จะเปลี่ยนแปลงตามแฟคเตอร์ต่างๆ เช่น มุมตกกระทบ-มุมสะท้อน โพลาลิเซชัน ค่าคงที่ของพื้นโลก และความถี่ เป็นต้น จะได้

$$\rho = (\sin \theta - K) / (\sin \theta + K) \quad (3.12)$$

โดยที่ค่า θ คือ มุมตกกระทบ-สะท้อน และ K เป็นค่าคงที่ของพื้นโลก สำหรับในกรณีที่ระยะทางระหว่างสถานีฐานกับเครื่องโทรศัพท์มีระยะทางไกลมากค่า θ จะมีค่าเป็น 0° ดังนั้นค่า $\rho \cong (-1)$ และเมื่อใช้ความถี่ที่สูงกว่า 100 MHz ดังนั้นส่วนของเทอมสุดท้ายในสมการที่ 3.11 จะมีค่าน้อยมาก จึงสามารถลดรูปสมการได้เป็น

$$L \cong G_r G_t (\lambda/4\pi d)^2 [1 + \rho e^{j\Delta\phi}]^2 \quad (3.13)$$

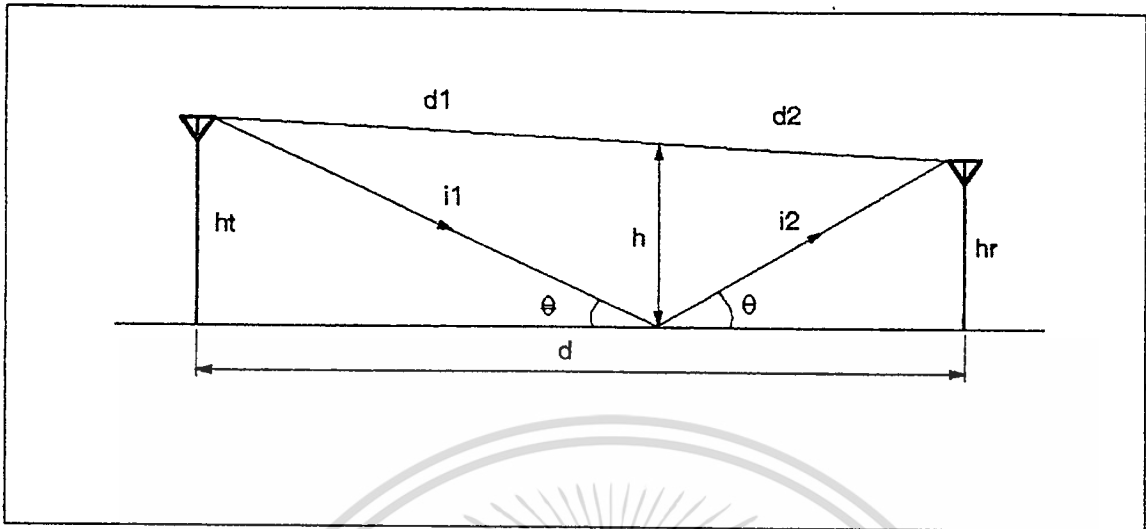
พิจารณาค่าความสูงสายอากาศของเครื่องส่งและเครื่องรับ (h_t และ h_r) จากในรูปที่ 3.7 โดยที่ระยะห่างระหว่างสายอากาศทั้งสองมีค่า d ถ้าค่าโหนดเฉลี่ยระหว่างคลื่นตรงกับคลื่นสะท้อนมีค่าเป็น Δt เมื่อการเลื่อนของเฟสมีค่าเป็น $\Delta\phi$ ดังนั้น $\Delta\phi = 2\pi f \Delta t$ โดย f คือความถี่ของสัญญาณ ดังนั้น

$$\Delta\phi = 2\pi(\Delta d/\lambda) \quad (3.14)$$

โดย

$$\Delta d = (i_1 + i_2) + (d_1 + d_2) \quad (3.15)$$

ซึ่งก็คือค่าผลต่างระหว่างทางเดินของคลื่นตรงกับคลื่นสะท้อน ระยะทางที่แตกต่างกันนี้สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของฟังก์ชัน h_t h_r และ d ได้ดังนี้



รูปที่ 3.7 แสดงคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนบนพื้นผิวโลก

$$\Delta\phi = \frac{2\pi d}{\lambda} \left(\sqrt{\left(\frac{h_t + h_r}{d}\right)^2 + 1} - \sqrt{\left(\frac{h_t - h_r}{d}\right)^2 + 1} \right) \quad (3.16)$$

เมื่อใช้การประมาณค่าของ $\sqrt{1+x} \cong 1+(x/2)$ สำหรับค่า x ที่น้อยๆ จากสมการที่ 3.16 สามารถเขียนได้เป็น

$$\Delta\phi = 4\pi (h_t h_r / \lambda d) \quad (3.17)$$

พิจารณาที่เทอม $[1 + \rho e^{j\Delta\phi}]^2$ ของสมการที่ 3.13

$$[1 + \rho e^{j\Delta\phi}]^2 = 2(1 - \cos \Delta\phi) = 4 \sin^2 (\Delta\phi/2) \quad (3.18)$$

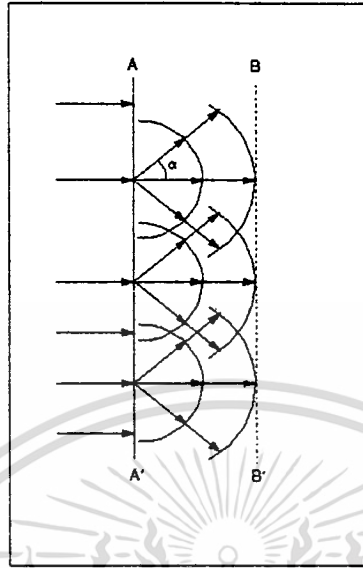
ในกรณีที่ $\Delta\phi$ มีค่าน้อยมาก ค่า $\sin^2 (\Delta\phi/2) \cong \Delta\phi/2$ ดังนั้น

$$[1 + \rho e^{j\Delta\phi}]^2 = (\Delta\phi)^2 \quad (3.19)$$

ดังนั้นจากสมการที่ 3.19, 3.17 และ 3.13 จะได้

$$L = G_t G_r (\lambda h_t h_r / d)^2 \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 หลักการของ HUYGEN

จากในรูปที่ 3.10 จะมีสิ่งกีดขวางทางเดินของคลื่นในระนาบ BB' เมื่อคลื่นเดินทางผ่านจากระนาบ AA' มายังระนาบ BB' จะเห็นว่าคลื่นในส่วนล่างจะไม่สามารถเดินทางผ่านไปได้ จึงเกิดพื้นที่เงาที่จะได้รับสัญญาณจากการหักเหของสัญญาณ พิจารณาที่จุด P ในระนาบของ BB' จากหลักการของ HUYGEN คลื่นที่แตกกระจายออกไปในทิศทางต่าง ๆ สามารถที่จะเดินทางผ่านเข้าไปยังพื้นที่เงาได้ ทำให้ในพื้นที่เงาจะสามารถรับสัญญาณที่มีการหักเหจากสัญญาณเดิมได้ แต่จะมีระดับความแรงของสัญญาณลดลง ซึ่งสิ่งที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า การหักเหของคลื่น

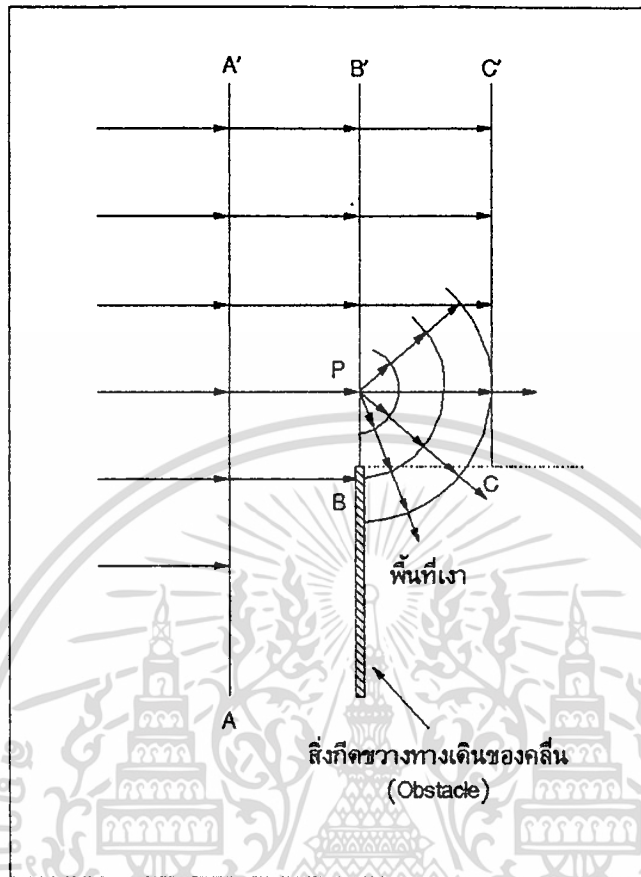
ค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการหักเหของคลื่นนี้ จะเกิดพารามิเตอร์ใหม่ที่ใช้หาค่าการลดทอนจากกราฟของการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการหักเหของคลื่นในพื้นที่เงา ดังในรูปที่ 3.11 ค่าพารามิเตอร์นั้นคือ เฟรชเชอนอล-เคอร์ซอพ ดิฟเฟคชัน พารามิเตอร์ (Fresnel-Kirchhoff diffraction parameter - v)

$$v = -hp \sqrt{(2/\lambda) \times (1/r_1 + 1/r_2)} \quad (3.22)$$

โดยค่า hp เป็นค่าระยะห่างระหว่างจุดปลายของสิ่งกีดขวางกับเส้นตรงระหว่างเครื่องรับกับเครื่องส่ง

ค่าการลดทอนจากกราฟที่ 3.11 สามารถที่จะเขียนสมการของค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้จากค่าพารามิเตอร์(v) เพื่อให้สามารถนำมาใช้ในการคำนวณได้สะดวกขึ้น โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการคำนวณ สมการจะสามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



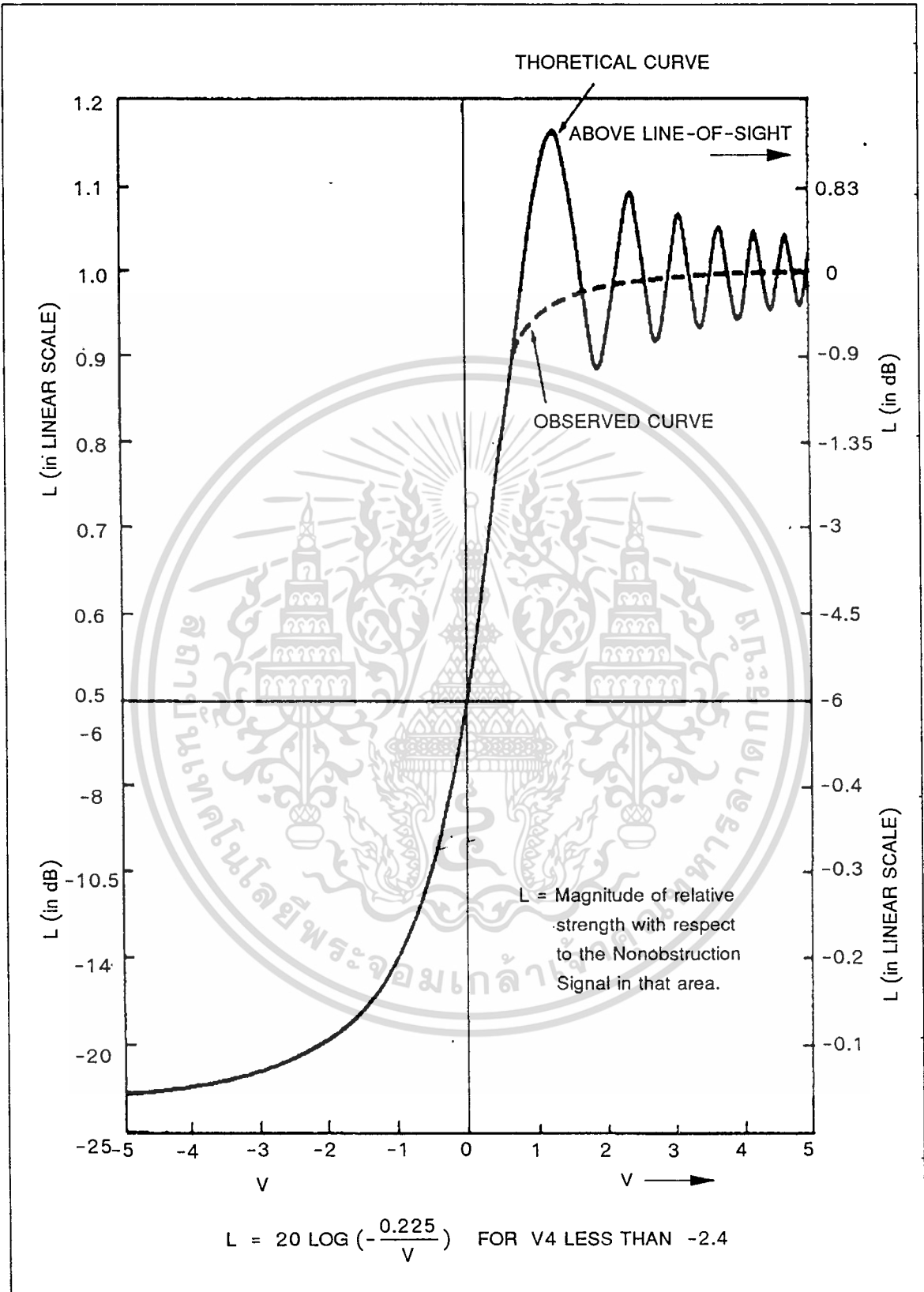
รูปที่ 3.10 แสดงการหักเหของคลื่นที่ยอดของสิ่งกีดขวาง

$$\begin{aligned}
 1 \leq V & \quad L = 0 \text{ dB} \\
 0 \leq V \leq 1 & \quad L = 20 \log (0.5 + 6.2V) \\
 -1 \leq V \leq 0 & \quad L = 20 \log (0.5e^{0.95V}) \\
 -2.4 \leq V \leq -1 & \quad L = 20 \log (0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.1V + 0.38)^2}) \\
 V \leq -2.4 & \quad L = 20 \log (-0.225/V)
 \end{aligned} \tag{3.23}$$

ส่วนในกรณีที่มีจุดที่เกิดสิ่งกีดขวางมากกว่า 1 จุด จะมีการคำนวณหาทางคณิตศาสตร์ที่ค่อนข้างยุ่งยากมาก ซึ่งจะมีค่าอยู่หลายวิธีการด้วยกันคือ

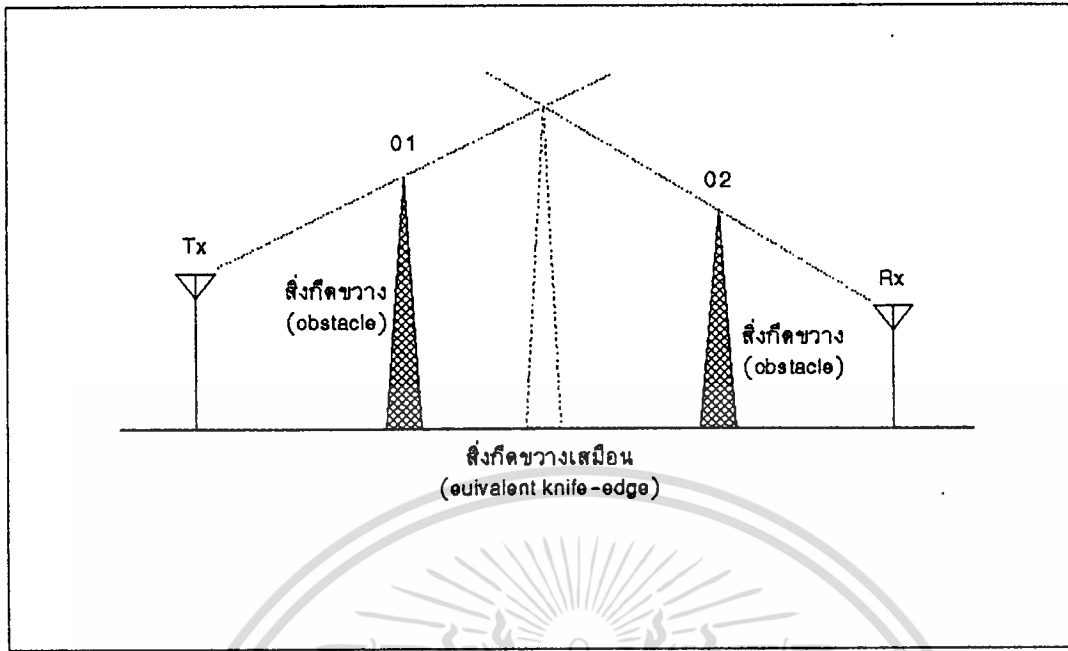
วิธีการ Bullington จะใช้วิธีการหาสิ่งกีดขวางเสมือน ที่ได้จากจุดตัดระหว่างเส้นที่ลากจากเครื่องส่งผ่านจุดยอดของสิ่งกีดขวาง กับเส้นที่ลากจากเครื่องรับผ่านจุดยอดของสิ่งกีดขวาง แล้วจะให้จุดตัดนั้นเป็นเสมือนสิ่งกีดขวางเพียงจุดเดียว ดังแสดงในรูปที่ 3.12 แล้วจึงใช้การคำนวณเหมือนในกรณีที่เกิดสิ่งกีดขวางเพียงจุดเดียว มีค่า $L = f(d_1, d_2, hp)$ ข้อดีของวิธีการนี้จะง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 กราฟการลดทอนจากการหักเหของคลื่นในเขตพื้นที่เงา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 หลักการหาการลดทอนของสัญญาณจากสิ่งกีดขวางของ Bullington

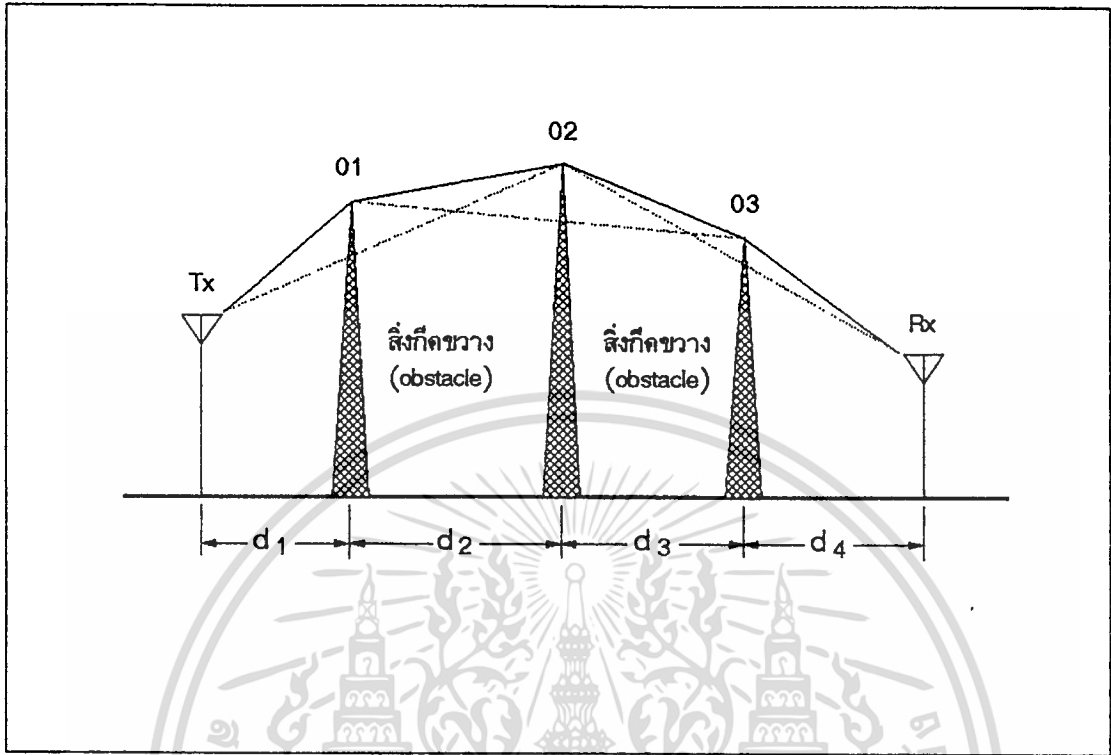
ในการคำนวณแต่ละจุดจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นสูง ดังนั้นวิธีการนี้จึงใช้เพียงเพื่อประมาณค่าของระดับสัญญาณที่ได้รับ หลังจากที่มีการลดทอนเนื่องจากสิ่งกีดขวางเกิดขึ้น

วิธีการของ Epstein-Peterson จะใช้การคำนวณหาค่าการลดทอนเนื่องจากสิ่งกีดขวางแต่ละจุดแล้วจึงนำค่าการลดทอนมารวมกัน โดยจะสมมุติให้จุดยอดของสิ่งกีดขวางถัดไปเป็นจุดรับสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 3.13 จะเกิดสิ่งกีดขวาง 3 จุด ด้วยกัน จะมีการหาค่าการลดทอน 3 ค่าด้วยกันคือ $L_{01} = f(d_1, d_2, h_{p1})$ เป็นค่าการลดทอนที่สิ่งกีดขวางจุด 01 ส่วนค่า $L_{02} = f(d_2, d_3, h_2)$ เป็นค่าการลดทอนที่สิ่งกีดขวางจุด 02 และค่า $L_{03} = f(d_3, d_4, h_3)$ เป็นค่าการลดทอนที่สิ่งกีดขวางจุด 03 ดังนั้นค่าการลดทอนรวมเนื่องจากสิ่งกีดขวางหลายๆจุด จะได้เป็น

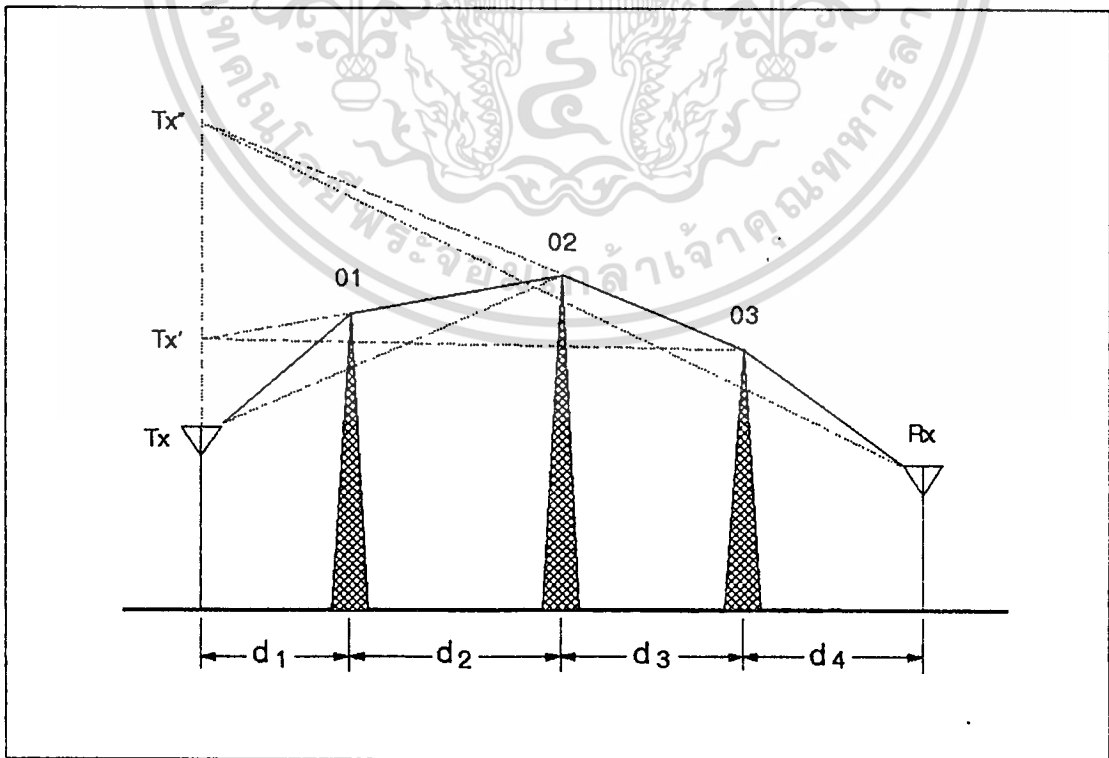
$$L_d = L_{01} + L_{02} + L_{03} + \dots \quad (3.24)$$

วิธีการของ Japanese จะคล้ายคลึงกับวิธีการของ Epstein-Peterson ที่ใช้การหาค่าการลดทอนที่แต่ละจุดที่เกิดสิ่งกีดขวางขึ้น แต่จะแตกต่างตรงที่วิธีการคำนวณหาค่าการลดทอนที่แต่ละจุด โดยจะลากเส้นระหว่างจุดยอดของสิ่งกีดขวาง 2 จุด ที่ลากมาตัดกับระนาบของทางด้านส่ง ดังในรูปที่ 3.14 และจะใช้จุดตัดนั้นเป็นเสมือนสายอากาศของเครื่องส่ง เพื่อจะใช้วิธีการคำนวณเหมือนในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางเพียงจุดเดียว ดังนั้นจะมีค่า L_{01} ที่ได้จากสามเหลี่ยม T-01-02 , สามเหลี่ยม T'-02-03 และสามเหลี่ยม T'-03-R ค่าการลดทอนรวมจะมีค่าดังในสมการที่ 3.24

วิธีการของ Deygout วิธีการนี้จะพยายามจัดให้อยู่ในเทอมของ จุดยอดหลักของสิ่งกีดขวาง (main-edge) ทั้งหมด โดยการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ v ที่เกิดขึ้นจากยอดของสิ่งกีดขวางต่างๆ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 หลักการหาค่าการลดทอนเนื่องจากสิ่งกีดขวางของ Epstein-Petersons

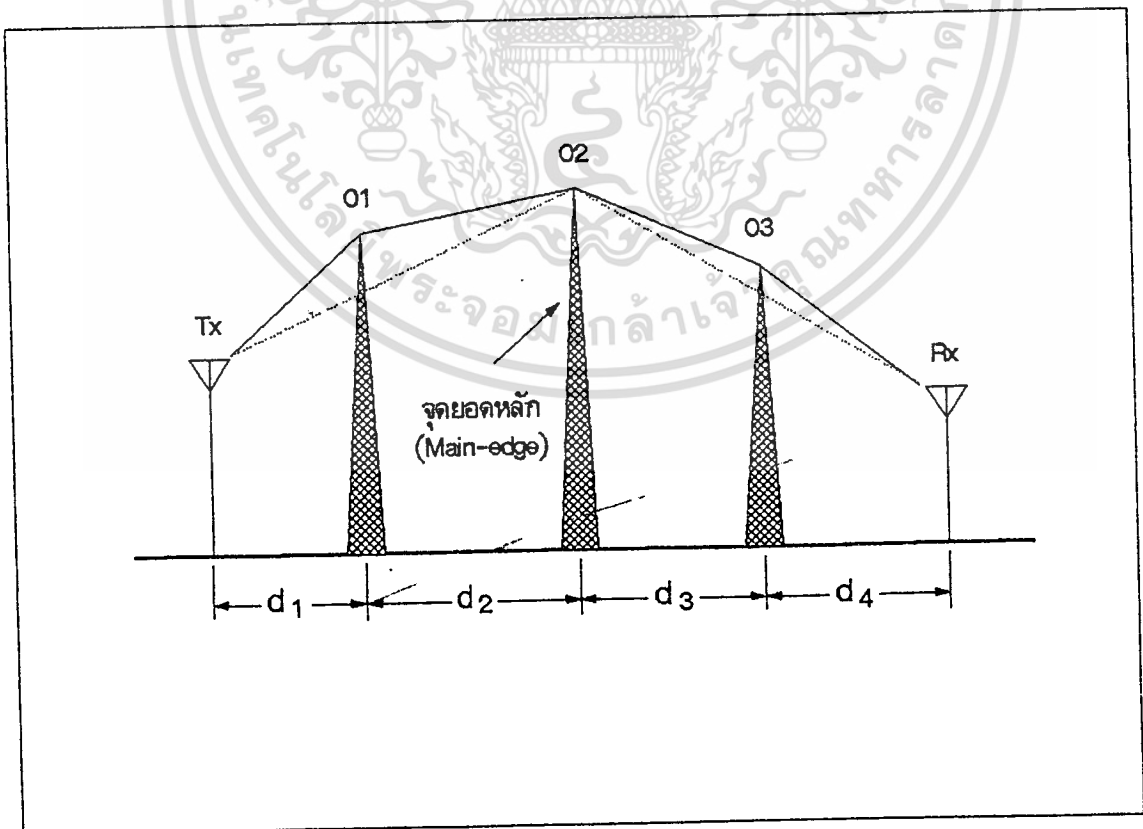


รูปที่ 3.14 หลักการหาค่าการลดทอนเนื่องจากสิ่งกีดขวางของ Japanese

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถใช้งานได้ฟรีเฉพาะใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เกิดขึ้นระหว่างทางเดินของคลื่นจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับ แล้วจะพิจารณาหาจุดยอดหลักที่จะเกิดการลดทอนมากที่สุด จากในรูปที่ 3.15 จะเป็นกรณีที่เกิดสิ่งกีดขวางทางเดินของคลื่น 3 จุด จะสามารถคำนวณหาพารามิเตอร์ v ได้ 3 ส่วนคือ T-01-R, T-02-R และ T-03-R เพื่อหาจุดยอดหลัก ซึ่งได้จุดยอดหลัก คือจุดยอด 02 ดังนั้นค่าการลดทอนจากจุดยอด 01 และจุดยอด 03 จะหาได้จากการเทียบกับจุดยอดหลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ดังนั้นการหาค่าการลดทอนจะได้จากการคำนวณจากส่วนของ T-01-02 ส่วนของ 02-03-R และส่วนของ T-02-R

จากวิธีการต่างๆ ในการหาค่าการลดทอนจากการหักเหของคลื่น เนื่องจากสิ่งกีดขวางทางเดินของคลื่นเกิดขึ้นมากกว่า 1 จุด จะเห็นว่าในวิธีการของ Bullington จะเข้าใจง่ายและใช้การคำนวณที่ไม่ซับซ้อนมากนัก แต่จะมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นสูง ส่วนในวิธีการของ Deygout จะเป็นวิธีการที่ยุ่งยากมาก เนื่องจากจะต้องหาค่าพารามิเตอร์จากจุดยอดของสิ่งกีดขวางที่เกิดขึ้นทั้งหมดเพื่อหาจุดยอดหลัก แล้วจึงทำการคำนวณหาค่าการลดทอนอีกครั้ง ในวิธีการนี้จึงเหมาะสมกับในกรณีที่เกิดจุดยอดของสิ่งกีดขวางไม่มากนัก ส่วนวิธีการของ Epstein Peterson และวิธีการของ Japanese จะเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการหาค่าการลดทอนจากการหักเหของคลื่น เนื่องจากสิ่งกีดขวางทางเดินเกิดขึ้นมากกว่า 1 จุด เนื่องจากเป็นการหาค่าการลดทอนที่เกิดจากแต่ละจุดยอดของสิ่งกีดขวางที่มีการประมาณได้ใกล้เคียงมากที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.15 หลักการหาค่าการลดทอนเนื่องจากสิ่งกีดขวางของ Deygout
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

การหาค่าการลดทอนของสัญญาณ จะมีความสำคัญมากในการวางแผนและออกแบบระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ ซึ่งความเที่ยงตรงของการหาค่าการลดทอนจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่อย่างมีประสิทธิภาพถูกต้อง ครอบคลุมพื้นที่บริการที่ต้องการทั้งหมด อย่างเช่น สภาพความสูง-ต่ำของภูมิประเทศ ความสูงและจำนวนของสิ่งก่อสร้าง ฯลฯ ซึ่งในการใช้บริการของเขตพื้นที่ตัวเมือง สิ่งก่อสร้างต่างๆจะมีผลกระทบอย่างมากต่อการแพร่กระจายของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังนั้นการจะคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณในเขตเมืองที่มีสิ่งก่อสร้างต่างๆมากมายได้ยากมาก แต่ก็ยังมีกลุ่มบุคคลต่างๆได้พยายามหาวิธีการในการหา ลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งก็ได้แก่วิธีการคาดคะเน (Prediction Techniques) ที่จะทำการหาสมการในการแพร่กระจายของคลื่น เทียบกับระดับของสัญญาณที่ใช้งานจริง โดยจะทำการศึกษาจากหลายๆพื้นที่ ซึ่งจะมีเทคนิคในการหาที่แตกต่างกันตามแต่ละพื้นที่ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ค่าที่ได้จากการหาในวิธีการคาดคะเนการแพร่กระจายของคลื่น จะเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่สำคัญมากในการวางแผนระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ก่อนที่จะมีการติดตั้งระบบใช้งานจริงในพื้นที่วิธีการคาดคะเนการแพร่กระจายคลื่นจะมีอยู่หลายวิธีดังนี้

3.4.1 วิธีการของ Egli

วิธีการของ Egli จะใช้การพิจารณาจากการวัดสัญญาณในพื้นที่ราบเรียบที่ความถี่ระหว่าง 90-1000 MHz นาย Egli ได้สังเกตเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณในพื้นที่เล็ก ๆ จะเป็นตาม กฎค่าผกผันกำลังสี่ (Inverse Fourth-Power Law) กับค่าระยะทางของเครื่องส่งกับเครื่องรับ ที่คล้ายคลึงกับลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นบนพื้นผิวโลกที่ราบเรียบ แต่จะมีค่าการลดทอนที่มากกว่า ซึ่งจะมีเฟคเตอร์อื่นที่ทำให้เกิดค่าลดทอนขึ้น ซึ่งวิธีการของ Egli จะสามารถแสดงค่าการลดทอนของสัญญาณได้ดังนี้

$$L_T = 20 \log fc + 40 \log R - 20 \log h_r + \beta \quad (3.25)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \beta &= 76.3 - 10 \log hm && \text{ในกรณีที่ } hm \leq 10 \\ \beta &= 85.9 - 20 \log hm && \text{ในกรณีที่ } hm \geq 10 \end{aligned}$$

ค่าของ β จะเป็นค่าที่เกิดขึ้นจากเฟคเตอร์ความสูง-ต่ำของพื้นที่ ซึ่งทำให้ค่าการลดทอนที่ได้จากวิธีการของ Egli มีค่าใกล้เคียงมากกว่าการหาการลดทอนของพื้นโลกที่ราบเรียบ

3.4.2 วิธีการของ Blomquist - Ladell

วิธีการของ Blomquist - Ladell จะใช้การหาค่าการลดทอนของการแพร่กระจายคลื่นจากส่วนช่องการลดทอนของสัญญาณจากการเดินทางของคลื่นในอากาศ (L_p -Free space loss) และการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนของการลดทอนของสัญญาณจากพื้นโลก (L_p -plane earth loss) โดยจะกำหนดสมการพื้นฐานของการลดทอนของสัญญาณรวมได้เป็น

$$L_T = L_F + [(L_p' - L_F)^2 + L_D^2]^{1/2} \quad \text{dB} \quad (3.26)$$

โดยที่ L_p' เป็นค่าการลดทอนของสัญญาณจากพื้นโลกที่คิดค่าของแฟคเตอร์ที่เป็นผลจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ส่วนค่า L_D เป็นค่าการลดทอนของสัญญาณจากการหักเหของคลื่นที่ใช้วิธีการของ Epstein-Peterson (ในหัวข้อ 3.3.3)

จากในสมการที่ 3.26 นั้น ถ้ามีการใช้ในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางทางเดินของคลื่นเกิดขึ้นสูง ซึ่งจะทำให้ค่า $L_D \gg (L_p' - L_F)$ ดังนั้นค่าการลดทอนรวมจะได้เป็น

$$L_T = L_F + L_D \quad (3.27)$$

ในลักษณะที่คล้ายกัน ถ้ามีการใช้ในพื้นที่ที่ไม่เกิดสิ่งกีดขวางทางเดินของคลื่นจะทำให้ส่วนของ $L_D \rightarrow 0$ ดังนั้นค่าการลดทอนรวมจะได้เป็น

$$L_T = L_p' \quad (3.28)$$

ดังนั้นสูตรในการหาค่าการลดทอนจากการแพร่กระจายคลื่นของ Blomquist - Ladell สามารถสรุปได้ดังนี้

$$L_T = \begin{cases} L_F + (F_B^2 + L_D^2)^{1/2} & ; F_B \leq 0 \\ L_F + (F_B^2 - L_D^2)^{1/2} & ; F_B > 0, \leq |L_D| \\ L_F - (F_B^2 - L_D^2)^{1/2} & ; F_B > 0, > |L_D| \end{cases} \quad (3.29)$$

โดยที่ $F_B = L_p' - L_F$

$$= 10 \log \left[\left(\frac{4\pi(hb)^2}{\lambda d} + \frac{\lambda(eb)^2}{\pi d(eb-1)} \right) \left(\frac{4\pi(hm)^2}{\lambda d} + \frac{\lambda(em)^2}{\pi d(em-1)} \right) \right] + Y \quad (3.30)$$

เมื่อ

$$Y = \begin{cases} -2.8 (x) & ; x < 0.53 \\ 6.7 + 10 \log (x) - 10.2(x) & ; 0.53 \leq x \leq 2 \end{cases} \quad (3.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 6.7 + 10 log (x) - 10.2(x) ศึกษา; 0.53 ≤ x ≤ 2 หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X = (2\pi/\lambda)^{1/3} (k.a)^{-2/3} d \quad (3.32)$$

โดยที่ค่า k คือ แฟคเตอร์รัศมีของโลก (ปกติจะใช้ที่ 4/3)

a คือ รัศมีของโลกมีค่าเท่ากับ 6.371×10^6 เมตร

d คือ ระยะทางระหว่างสายอากาศรับและสายอากาศส่ง

h_b, h_m คือ ความสูงของสายอากาศที่สถานีฐานและที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

ϵ_b, ϵ_m คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสายอากาศที่สถานีฐานและที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (ปกติจะมีค่าที่ 10 ในกรณีในพื้นที่แห้ง)

3.4.3 วิธีการของ Edward - Durkin

ในวิธีการของ Edward - Durkin จะใช้การหาค่าการลดทอนรวม (L_T) ขึ้นอยู่กับค่าการลดทอนของ ($L_F + L_D$) และ ($L_P + L_D$) โดยที่จะให้ค่า

$$L_F = K_1 + 20 \log f_c + 20 \log d \quad \text{dB} \quad (3.33)$$

โดย K_1 จะมีค่า 28.58 dB สำหรับสายอากาศฮาฟเวฟไดโพล (half-wave dipole antenna) และมีค่า 32.45 dB สำหรับสายอากาศแบบไอโซโทรปิก

สำหรับค่าของ L_P จะใช้สมการลดทอนจากพื้นโลกของ Bulington ซึ่งจะมีค่าเป็น

$$L_P = K_2 = 20 \log (h_m) + 20 \log (h_b) + 40 \log d \quad (3.34)$$

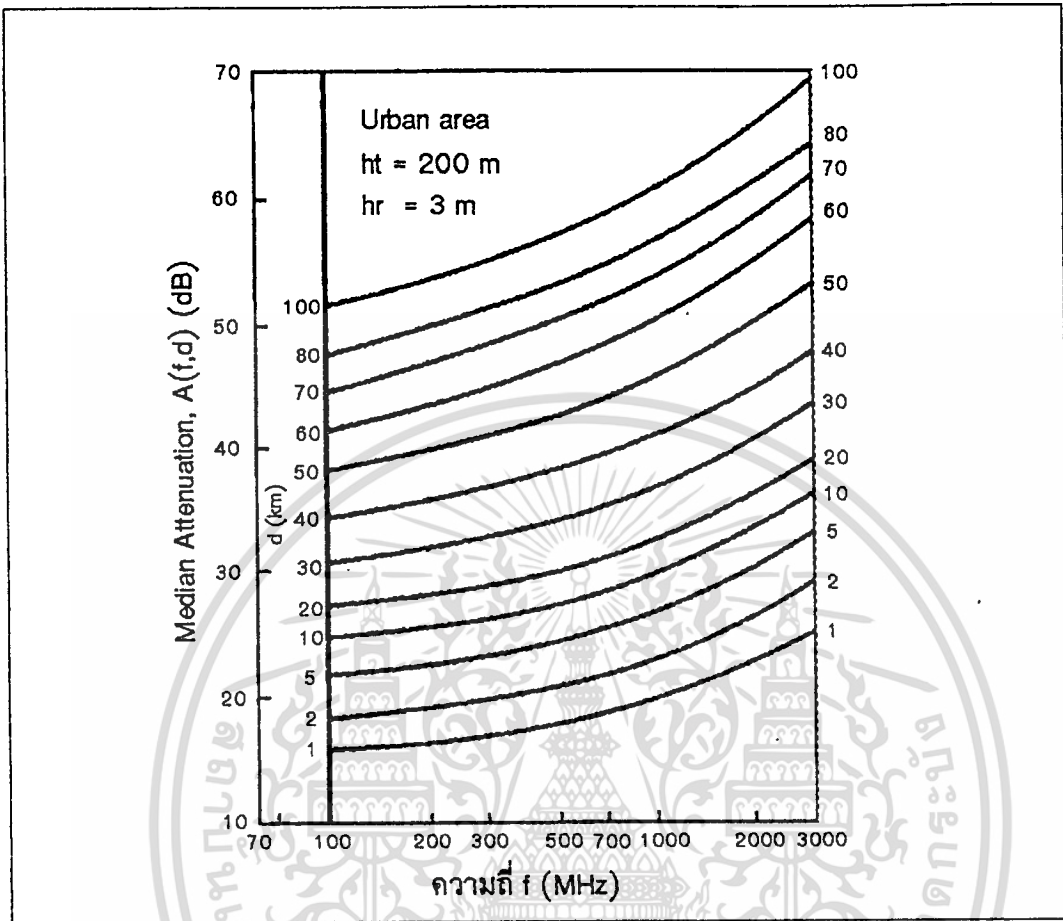
โดย K_2 จะมีค่า 115.1dB ในกรณีที่ใช้สายอากาศฮาฟเวฟไดโพล และมีค่า 118.7 dB สำหรับในกรณีสายอากาศแบบไอโซโทรปิก

3.4.4 วิธีการของ Okumura

วิธีการของ Okumura จะเป็นการหาค่าการลดทอนจากเคิร์ฟความแรงของสัญญาณที่วัดได้ในตัวกลางพื้นฐาน ที่มีการกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยทำการวัดที่รอบกรุงโตเกียวที่ความสูงของสายอากาศส่ง h_t เท่ากับ 200 เมตร และความสูงของสายอากาศรับ h_r เท่ากับ 3 เมตร ซึ่งสามารถที่จะกำหนดความสัมพันธ์ของการแพร่กระจายของคลื่นได้ดังสมการที่ 3.35

$$L = L_F + A(f,d) - G_{\text{AREA}} - G(h_t) - G(h_r) \quad (3.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 ค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการลดทอนสัญญาณ $A(f,d)$ กับความถี่และระยะทาง

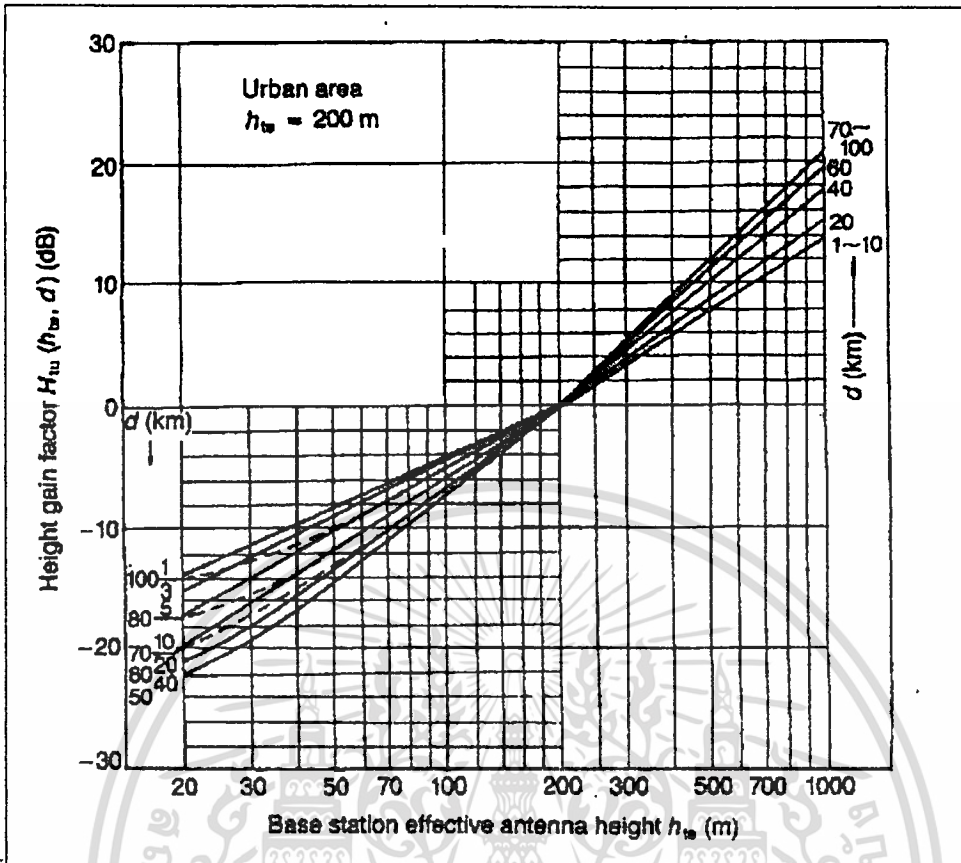
ค่า $A(f,d)$ เป็นพารามิเตอร์ที่เพิ่มขึ้นมาเป็นค่ากลางของการลดทอนของพื้นที่ในตัวเมืองที่มีพื้นที่ราบเรียบ (quasi smooth terrain) ที่มีความแตกต่างของระดับพื้นดินไม่เกิน 20 m. ค่า $G(h_r)$ เป็นค่าเกณฑ์เนื่องจากความสูงของสายอากาศส่งที่แสดงดังในรูปที่ 3.17 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้เท่ากับ

$$G(h_r) = 20 \log (h_r/200) \quad ; h_r > 10 \text{ m.} \quad (3.36)$$

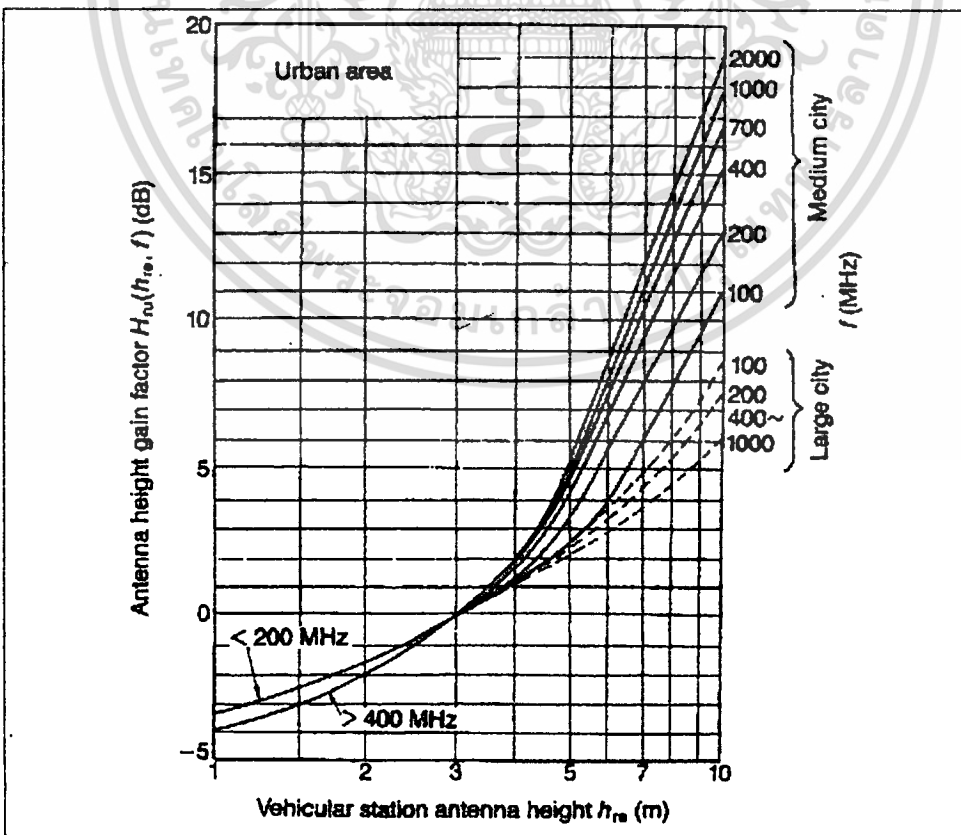
ส่วนค่า $G(h_r)$ เป็นค่าเกณฑ์เนื่องจากความสูงของสายอากาศรับ ที่แสดงในรูปที่ 3.18 และสามารถเขียนเป็นสมการได้เท่ากับ

$$G(h_r) = 10 \log (h_r/3) \quad ; h_r < 3 \text{ m.} \quad (3.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

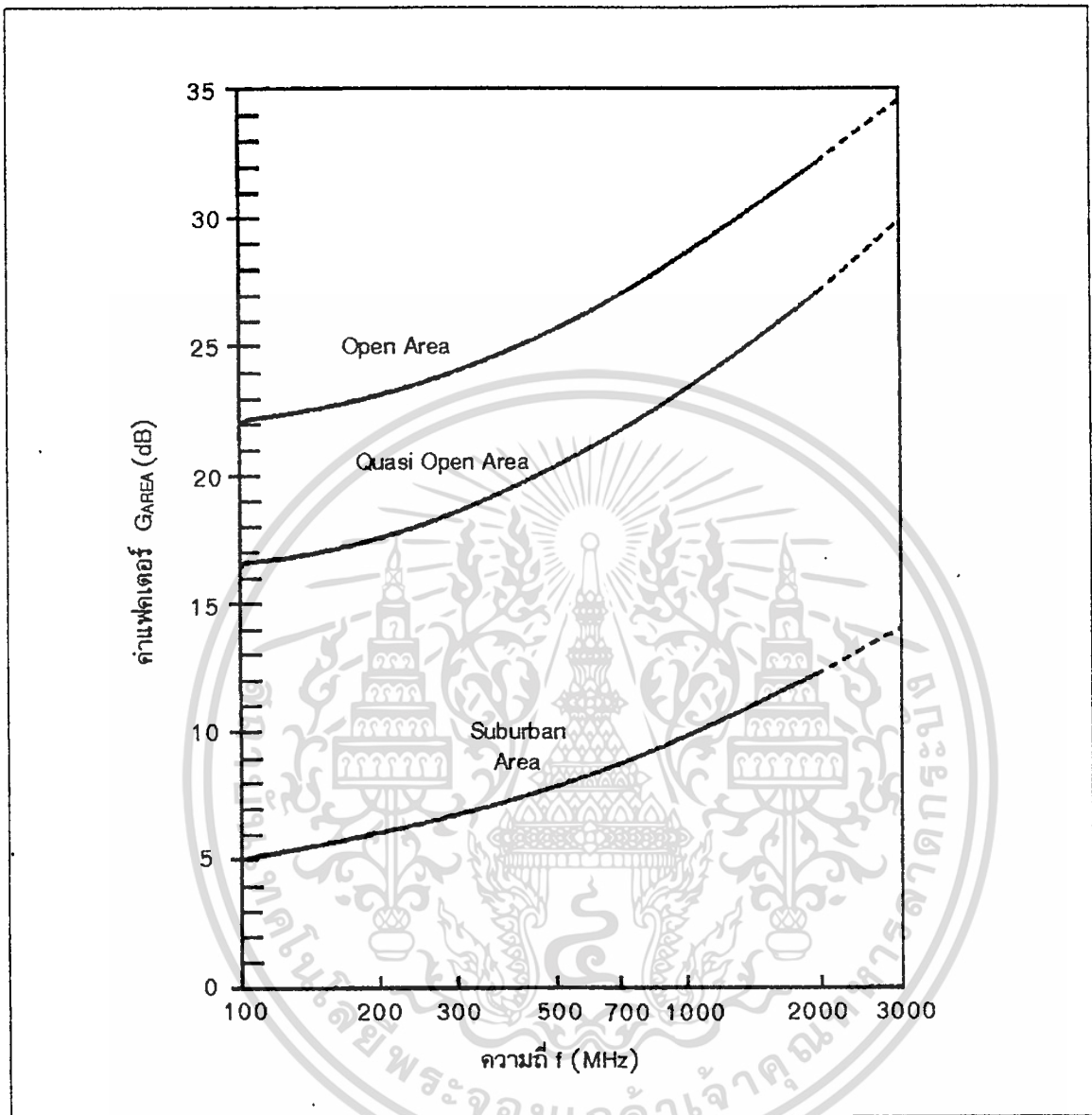


รูปที่ 3.17 ค่าเกณฑ์จากผลความสูงของสายอากาศส่ง



รูปที่ 3.18 ค่าเกณฑ์จากผลความสูงของสายอากาศรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการวิจัยเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ค่าแฟคเตอร์ G_{AREA} ที่ใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของพารามิเตอร์ $A(f,d)$

ส่วนค่า G_{AREA} เป็นค่าแฟคเตอร์ เพื่อใช้ในการแก้ไขการลดทอนในพื้นที่ต่างๆ ของค่าพารามิเตอร์ $A(f,d)$ โดยค่าของ G_{AREA} จะแสดงดังในรูปที่ 3.19

3.4.5 วิธีการของ Hata

จากในวิธีการของ Okumura จะเห็นว่าผลที่ได้จะแสดงอยู่ในลักษณะของกราฟ ซึ่งยุ่งยากในการนำมาวิเคราะห์ Hata จึงได้ทำการแก้ไขค่าต่างๆ จากกราฟให้อยู่ในรูปของสมการ โดยการกำหนดสภาพพื้นฐานไว้ดังนี้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การลดทอนของสัญญาณจากการแพร่กระจายคลื่น จะพิจารณาจากสายอากาศแบบไอโซโทรปิก
- สมมติให้เป็นเขตพื้นที่ราบเรียบและการลดทอนที่เกิดจากสิ่งกีดขวางจะไม่นำมาคิด
- สมการพื้นฐานหลัก จะคิดคำนวณจากสภาพแวดล้อมในเขตตัวเมือง (urban area) และพื้นที่อื่นจะมีการใช้แฟคเตอร์ในการแก้ไขจากสมการพื้นฐาน

จากสภาวะพื้นฐานข้างต้น Hata จึงทำการแก้ไขได้เป็น สมการการลดทอนของสัญญาณในการแพร่กระจายคลื่น ได้ดังนี้

$$L_p = 69.55 + 26.16 \log h_b - a(h_m)^* + (44.9 - 6.55 \log h_b) \cdot \log R \quad (3.38)$$

โดยที่ $a(h_m)^*$ เป็นแฟคเตอร์สำหรับแก้ไขของสายอากาศของโทรศัพท์เคลื่อนที่เทียบกับสภาพพื้นที่ที่เป็นเขตพื้นที่ตัวเมือง

ในเขตเมืองขนาดเล็ก-กลาง

$$a(h_m)^* = (1.1 \log f_c - 0.7) \cdot h_m - (1.56 \log f_c - 0.8)$$

ในเขตเมืองขนาดใหญ่

$$a(h_m)^* = 8.29(\log 1.5 h_m)^2 - 1.1 \quad ; f_c \leq 200 \text{ MHz} \quad (3.39)$$

$$a(h_m)^* = 3.2(\log 11.75 h_m)^2 - 4.97 \quad ; f_c \geq 400 \text{ MHz}$$

ส่วนในกรณีที่เป็นพื้นที่ชานเมือง สามารถจะเขียนสมการได้ดังนี้

$$L_{ps} = L_p - 2 [\log (f_c/28)]^2 - 5.4 \quad (3.40)$$

และส่วนในกรณีที่เป็นเขตพื้นที่โล่ง สามารถจะเขียนสมการได้ดังนี้

$$L_{po} = L_p - 4.78(\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c - 40.49 \quad (3.41)$$

3.4.6 วิธีการของ Allsebrook และ Parsons

วิธีการของ Allsebrook และ Parsons จะเป็นการแก้ไขค่าที่ได้จากวิธีการของ Blomquist และ Ladell โดยจะทำการพิจารณาการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากสิ่งก่อสร้างต่างๆ เช่น อาคารสำนักงาน คอนโดมิเนียม เป็นต้น ซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นอย่างมาก และได้เพิ่มแฟคเตอร์ในการแก้ไขสัญญาณความถี่ UHF ที่มีค่ามากกว่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

200 MHz ที่จะทำให้การคำนวณค่าการลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์ในเขตตัวเมืองมีค่าที่ใกล้เคียงการใช้งานจริงมากขึ้น สมการการลดทอนในวิธีการของ Allsebrook และ Parsons จะแสดงได้ดังนี้

$$L_T = L_F + [(L_p' - L_F)^2 + L_D^2]^{1/2} + L_B + \gamma \quad \text{dB} \quad (3.42)$$

โดยที่ค่า L_B (Building loss) เป็นค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากสิ่งก่อสร้าง

$$L_B \text{ (dB)} = 20 \log \left(\frac{h_o - h_m}{548 \sqrt{(d_2 \times 10^{-3}) \cdot f_c}} \right) + 16 \quad (3.43)$$

h_o - ค่าความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้างที่อยู่บริเวณใกล้เคียง

d_2 - ค่าความกว้างเฉลี่ยของถนน

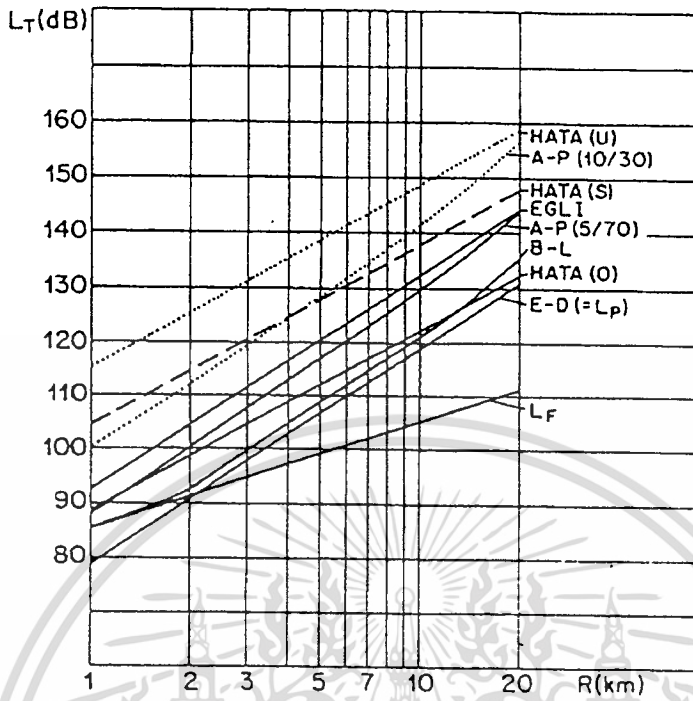
ส่วนค่า γ ในสมการที่ 3.42 จะเป็นแฟคเตอร์ในการแก้ไขสัญญาณความถี่ UHF ที่มีค่ามากกว่า 200 MHz ซึ่งโดยปกติแล้วใน free space จะมีค่า $\gamma = 2$ และในเขตพื้นที่ตัวเมืองจะมีค่า $\gamma = 3.68$

3.4.7 การเปรียบเทียบค่าการลดทอนของสัญญาณจากวิธีการต่าง ๆ

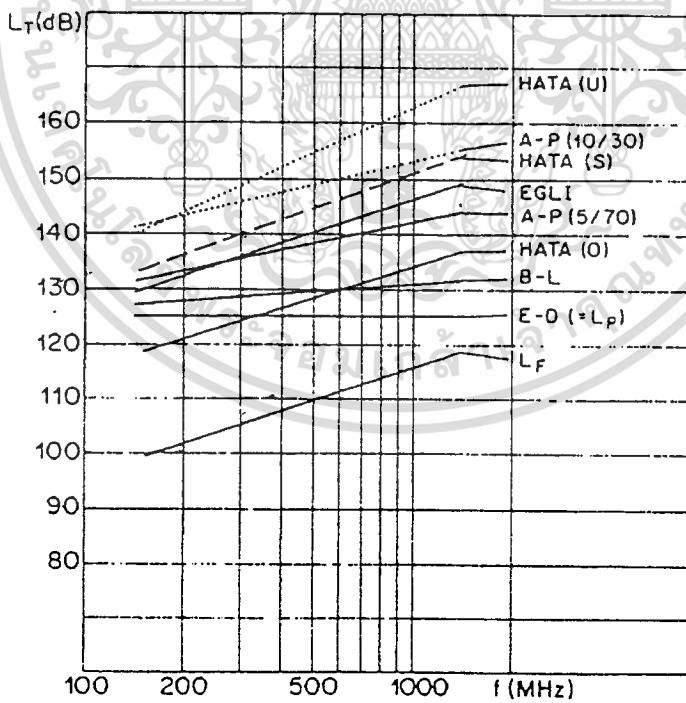
การหาการลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการวางแผนการให้บริการของโทรศัพท์เคลื่อนที่และจำนวนของผู้ใช้บริการ ซึ่งมีวิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณได้หลายวิธี แต่ละวิธีจะมีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณที่แตกต่างกัน และพิจารณาในสภาวะที่แตกต่างกัน เพื่อที่จะทำให้การคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณได้ค่าที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง ในสภาวะต่างๆ จึงได้มีการเปรียบเทียบวิธีการหาค่าการลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์ เพื่อศึกษาหาวิธีการที่จะนำไปใช้ในการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยทำการเปรียบเทียบจากวิธีการของ Hata วิธีการของ Edward และ Durkin วิธีการของ Blomquist และ Ladel วิธีการของ Egli และวิธีการของ Allsebrook Parsons

ในกรณีแรกจะเปรียบเทียบผลจากวิธีการต่าง ๆ โดยไม่มีการนำเอาค่าการลดทอนของสัญญาณจากการเบี่ยงเบนของคลื่น L_D มารวม ซึ่งจะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.20 (ก) ที่เป็นการพิจารณาค่าการลดทอนของสัญญาณในฟังก์ชันของระยะทาง (R) และในรูปที่ 3.20 (ข) จะพิจารณาค่าการลดทอนของสัญญาณในฟังก์ชันของความถี่ (f_c) โดยเส้นที่แสดงด้วยเส้นทึบจะเป็นการพิจารณาในเขตพื้นที่โล่งจากทั้ง 5 วิธีการข้างต้นจากผลจะเห็นว่าในวิธีการของ Hata จะมีค่าการลดทอนของสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในฟังก์ชันของระยะทาง และในวิธีการของ Edward และ Durkin (E-D) จะมีค่าการลดทอนที่เปลี่ยนแปลงในฟังก์ชันของความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



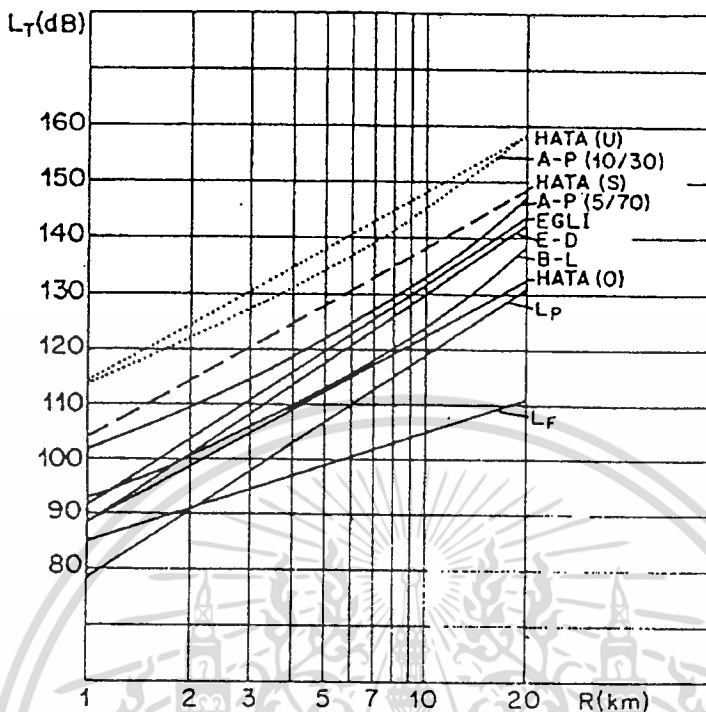
ก) ค่าการลดทอนของสัญญาณในฟังก์ชันของระยะทาง



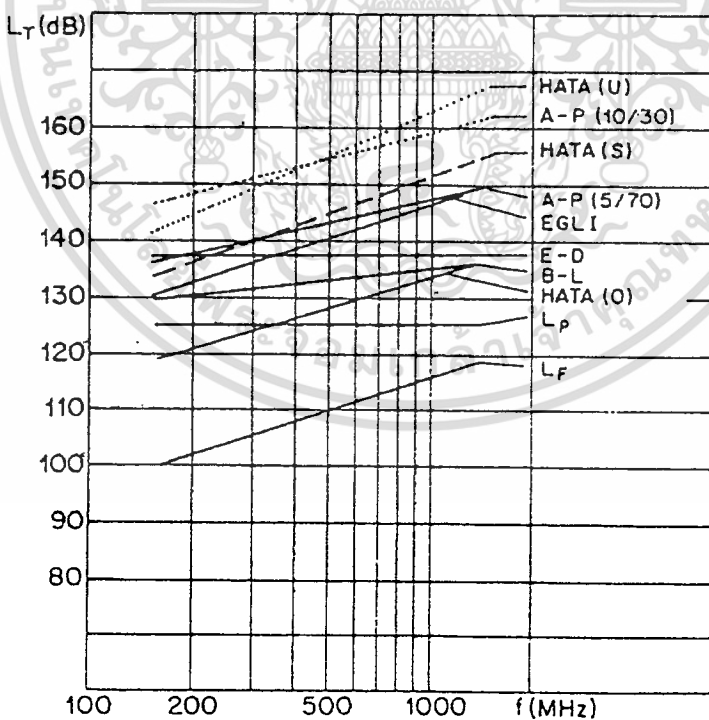
ข) ค่าการลดทอนของสัญญาณในฟังก์ชันของความถี่

รูปที่ 3.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าการลดทอนของสัญญาณ จากวิธีการต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) ค่าการลดทอนของสัญญาณในฟังก์ชันของระยะทาง



ข) ค่าการลดทอนของสัญญาณในฟังก์ชันของความถี่

รูปที่ 3.21 แสดงการเปรียบเทียบค่าการลดทอนของสัญญาณ จากวิธีการต่างๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยรวมค่าของ L_0 ด้วย ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ จากรูปที่ 3.20 และ 3.21 ในฟังก์ชันของระยะทาง จะกำหนดให้ใช้ความถี่ 450 MHz ส่วนการทำในฟังก์ชันของความถี่จะกำหนดระยะทางที่ 15 km ในวิธีการของ Hata U หมายถึงเขตตัวเมือง S หมายถึงเขตชานเมือง และ O หมายถึงพื้นที่โล่ง ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จะมีค่าเท่ากับ $h_b = 50$ m $h_m = 2$ m และค่าคงที่ไดโพลตริก ที่สถานีฐานและเครื่องโทรศัพท์ ϵ_s, ϵ_m มีค่าเป็น 10

ในกรณีที่สองจะหาค่าการลดทอนของสัญญาณที่พิจารณาค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการเบี่ยงเบนของคลื่น (L_D) มารวมด้วย โดยจะต้องทราบข้อมูลของสภาพภูมิประเทศ สำหรับหาค่าการลดทอนของสัญญาณนี้ ซึ่งอาจจะทำได้ยากในทางปฏิบัติ จึงได้นำเอาวิธีการหาค่า L_p ตามหลักการของ Longley และ Rice ที่จะใช้ในการหาค่าการลดทอน L_D ตามสภาพภูมิประเทศได้ โดยจะใช้พารามิเตอร์ที่สำคัญ 5 ส่วนคือ ความถี่ที่ใช้ระยะทาง ความสูงของสายอากาศที่สถานีฐาน ความสูงของสายอากาศที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่และพารามิเตอร์ความแตกต่างทางความสูงของพื้นที่ (Δh) ผลจากการเปรียบเทียบค่าการลดทอนของสัญญาณที่ได้จากวิธีการต่างๆ สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 3.21 (ก) และ 3.21 (ข) ที่แสดงในฟังก์ชันของระยะทาง และในฟังก์ชันความถี่ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ความแตกต่างทางความสูงของพื้นที่ $\Delta h = 15$ เมตร จากในรูปจะเห็นว่าครีฟการลดทอนในวิธีการของ Hata และ Egli จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย จากในกรณีที่ไม่วัดค่าของ L_D (จากในรูปที่ 3.20) ซึ่งก็เปรียบเสมือนการลดทอน L_D จะมีผลกระทบน้อยมากในการหาค่าการลดทอนจากวิธีการของ Hata และ Egli แต่ครีฟการลดทอนในวิธีการของ Allsebrook และ Parsons (A-P) จะมีการเปลี่ยนแปลงไปจากในรูปที่ 3.20 ซึ่งก็หมายถึงค่าการลดทอนของ L_D จะมีผลต่อค่าการลดทอนในวิธีนี้

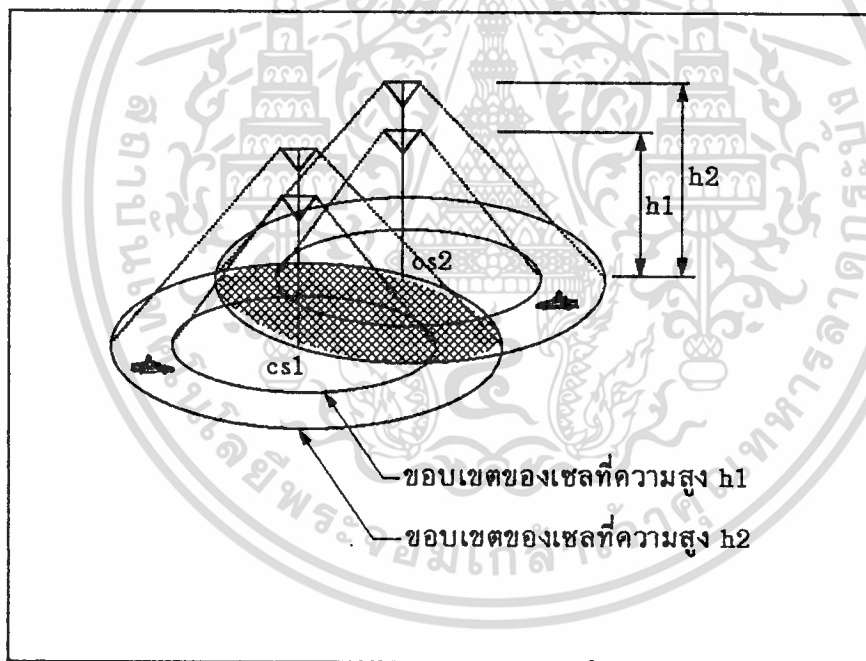
จากการเปรียบเทียบการลดทอนของสัญญาณที่ได้จากวิธีการของ Hata และ Egli วิธีการของ Edward และ Drukin (E-D) วิธีการของ Blomquist และ Ladell (B-L) และวิธีการของ Allsebrook และ Parsons (A-P) โดยกำหนดสภาพแวดล้อมที่เหมือนกัน จะมีอยู่ 2 วิธีการที่มีการกระทำได้ง่าย และมีความถูกต้องมากที่สุดก็คือ วิธีการของ Hata และวิธีการของ Allsebrook และ Parsons (A-P) ในวิธีการของ Hata จะมีกรใช้งานที่ง่ายและทำโปรแกรมได้ง่าย แต่จะมีข้อจำกัดที่แบ่งการหาค่าการลดทอนของสัญญาณออกเป็นพื้นที่ 4 พื้นที่ด้วยกัน (จากพื้นที่โล่ง ไปจนถึงพื้นที่ตัวเมือง) ซึ่งจะไม่สามารถครอบคลุมรายละเอียดจากสภาพแวดล้อมได้ดีพอ ซึ่งจะเห็นได้จากในการเปรียบเทียบทั้ง 2 กรณี จะเห็นว่าค่าการลดทอนของวิธีการของ Hata จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเลย ซึ่งในความเป็นจริง สภาพของพื้นที่ของตัวเมืองของแต่ละเมืองจะมีสภาพที่แตกต่างกัน ส่วนในวิธีการของ Allsebrook และ Parsons จะมีการนำเอาสภาพของสิ่งก่อสร้างและสภาพความสูง-ต่ำของพื้นที่มาใช้ด้วย ที่จะทำให้การหาค่าการลดทอนมีค่าที่แตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่ ดังนั้นการที่จะทำให้การลดทอนของสัญญาณมีความถูกต้อง ใกล้เคียงกันกับค่าที่วัดได้จริง จึงต้องกำหนดพารามิเตอร์ที่เป็นข้อมูลของสภาพแวดล้อมของพื้นที่ให้ถูกต้องและมีความละเอียดเพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ระบบสายอากาศในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า

ระบบสายอากาศเป็นส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งที่จะใช้ในการกำหนดขอบเขตการให้บริการของเซลในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า ที่ต้องพิจารณาจากค่าความสูงของสายอากาศ เหนือของสายอากาศและแพทเทิร์นของสายอากาศ ซึ่งจะเห็นว่าสิ่งเหล่านี้จะใช้ในการคำนวณหาค่าระดับของสัญญาณและค่าการลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อหาขอบเขตการให้บริการของเซล ค่าความสูงของสายอากาศที่สถานีฐานจะมีผลต่อขนาดของเซล กล่าวคือยิ่งมีความสูงมากก็จะทำให้สามารถครอบคลุมได้กว้างขึ้นหรือขนาดของเซลใหญ่ขึ้น ทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์เพิ่มขึ้น แต่จะต้องอยู่ในขอบเขตที่ไม่ทำให้เกิดการรบกวนกับเซลที่อยู่ข้างเคียงหรือกับเซลที่ใช้กลุ่มความถี่เดียวกัน แต่สิ่งที่จะช่วยลดการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ได้ก็คือ การให้แพทเทิร์นของสายอากาศที่เหมาะสมและใช้เทคนิคในการปรับมุมเอียงของสายอากาศ ซึ่งจะช่วยให้การแพร่กระจายของคลื่นไม่กระจายออกไปไกล ซึ่งจะทำให้ขอบเขตของเซลลดลง อัตราการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ก็จะลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 3.22 แสดงผลของความสูงของสายอากาศต่อขนาดของเซล

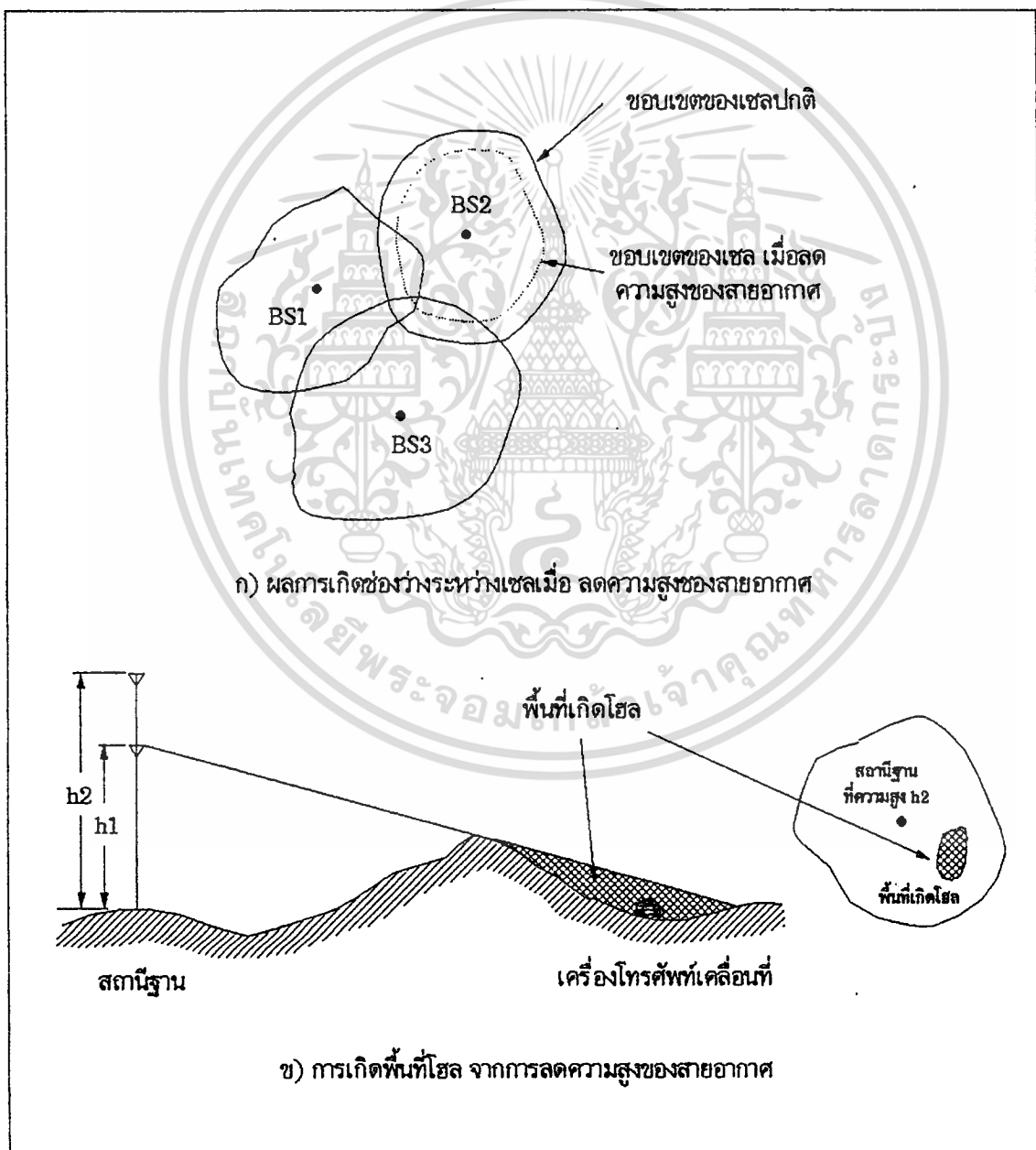
3.5.1 ความสูงและแกนของสายอากาศ

ในการติดตั้งสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบเดิมนั้น จะทำการติดตั้งในตำแหน่งที่สูง เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่การบริการได้กว้าง แต่ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า การที่ทำให้เซลมีขนาดใหญ่ อาจจะทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์กับเซลอื่นๆ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.21 เป็นการแสดงผลของความสูงของสายอากาศต่อขนาดของเซล เมื่อใช้สายอากาศที่มีความสูงแตกต่างกัน โดยสมมติให้ใช้สายอากาศที่มีความสูง 100 เมตรและ 150 เมตร จะเห็นได้ว่าเมื่อ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงแตกต่างกัน โดยสมมติให้ใช้สายอากาศที่ความสูง 100 เมตรและ 150 เมตร จะเห็นได้ว่าเมื่อความสูงของสายอากาศเพิ่มขึ้น ขนาดของเซลล์จะมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่จะส่งผลทำให้มีการเหลื่อมล้ำเข้าไปในเซลล์อื่น (พื้นที่แรเงาในรูปที่ 3.22) ที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์เพิ่มขึ้น ค่าความสูงของสายอากาศ จะเป็นพารามิเตอร์ส่วนหนึ่งที่สำคัญในการหาค่าการลดทอนของสัญญาณในวิธีการต่างๆ ในหัวข้อที่ 3.4 ดังนั้นค่าความสูงของสายอากาศจะต้องมีการนำมาพิจารณาเพื่อใช้ในการออกแบบเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

สายอากาศที่ใช้ในการส่งสัญญาณต่างๆ จะมีค่าเกณฑ์การขยายของสัญญาณที่แตกต่างกัน ทำให้สัญญาณที่ส่งและสัญญาณได้รับมีระดับสัญญาณที่เพิ่มขึ้น โดยเกณฑ์ของสายอากาศที่นำมาใช้

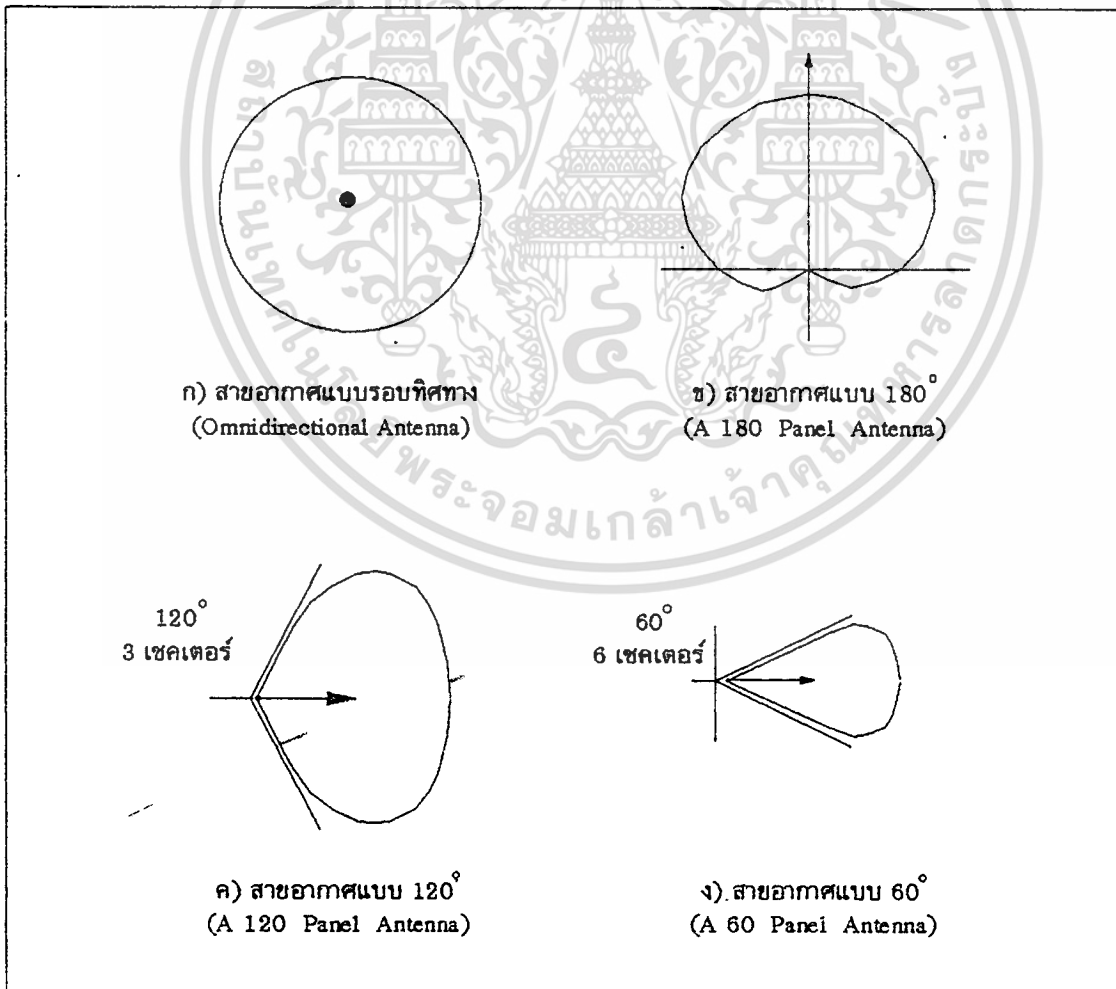


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.23 ผลของการลดระดับความสูงของสายอากาศ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะใช้ในการเทียบกับสายอากาศแบบไอโซโทรปิก ถ้ามีการใช้สายอากาศแบบไดโพลจะมีค่าเกินของสายอากาศเท่ากับ 6 dB ดังนั้นการใช้สายอากาศที่มีเกินสูงๆ ก็จะสามารถทำให้ส่งสัญญาณไปได้ไกลขึ้น ขอบเขตของเซลล์ก็จะมีขนาดกว้างขึ้นด้วย ค่าเกินของสายอากาศจึงต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบเซลล์ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลุ่มด้วย

3.5.2 ผลของแพทเทิร์นสายอากาศและการปรับมุมเอียงของสายอากาศ

ในการหาค่าการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์จากสัญญาณที่มาจากเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกัน ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลุ่ม จะสามารถแก้ไขได้จาก การเพิ่มระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกัน กระทำได้โดยการเพิ่มจำนวนของเซลล์ในกลุ่มเซลล์ เช่นจาก $K = 7$ ไปเป็น $K = 9$ เป็นต้น ซึ่งเป็นไปได้ยากและจะทำให้จำนวนช่องสัญญาณต่อเซลล์มีค่าลดลงด้วย อีกวิธีหนึ่งก็คือ การลดค่าความสูงของสายอากาศ เพื่อให้การแพร่กระจายไปได้ในระยะทางที่ลดลง แต่การลดความสูงของสายอากาศจะมีผลกระทบต่อขอบเขตของเซลล์ทั้งหมด จึงอาจจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ขึ้นในบางจุดได้ดังแสดงในรูปที่ 3.23 (ก) หรืออาจจะทำให้เกิดจุดโฮล (พื้นที่ที่มีระดับสัญญาณต่ำ



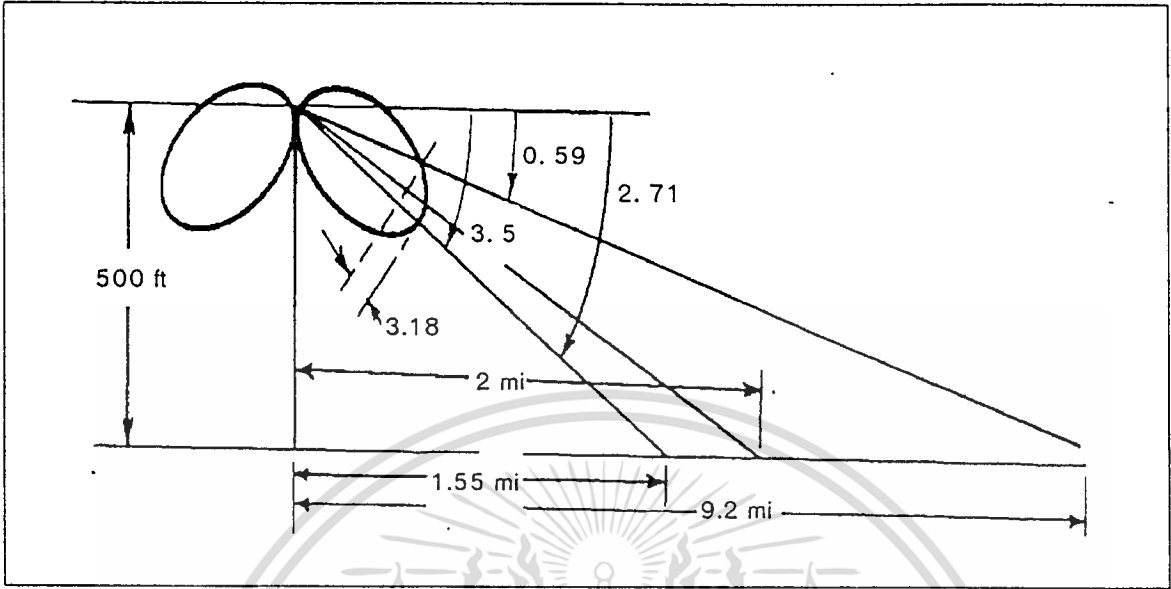
เอกสารรูปที่ 3.24 แสดงแพทเทิร์นของสายอากาศในแบบต่างๆ ที่ใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าระดับที่เครื่องโทรศัพท์จะสามารถใช้งานได้) เนื่องจากความสูงของสิ่งก่อสร้างหรือเนินเขา ดังแสดงในรูปที่ 3.23 (ข) ซึ่งในพื้นที่แรกจะเป็นพื้นที่ที่เกิดโฮลเมื่อมีการลดความสูงของสายอากาศมาที่ h_2 มีวิธีแก้ไขการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์อีกวิธีหนึ่งคือ การใช้แพทเทิร์นของสายอากาศและการปรับมุมเอียงของสายอากาศ จากเดิมที่ใช้สายอากาศในแบบรอบทิศทาง จะทำให้การแพร่กระจายของสายอากาศไปในทิศทางต่างๆ เท่ากัน ดังนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่สายอากาศ จะมีผลในทิศทางต่างๆ เหมือนกันหมดซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาดังในรูปที่ 3.23 (ก) ที่เมื่อลดค่าความสูงลงแล้วจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ของ BS1 กับ BS3 ขึ้น แต่ถ้ามีการแบ่งเซลล์ออกเป็นเซลล์เตอร์ เช่น 3 เซลล์เตอร์ เป็นต้น แล้วใช้สายอากาศแยกกันในแต่ละเซลล์เตอร์ โดยใช้สายอากาศแบบมีทิศทาง (Direction Antenna) ทำให้สามารถที่จะปรับเปลี่ยนที่สายอากาศในส่วนที่เกิดปัญหาขึ้นได้ เช่นในกรณีที่พบว่ามีการเกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ขึ้น ก็จะเพิ่มกำลังส่งให้กับสายอากาศในเซลล์เตอร์นั้น ส่วนกรณีที่พบว่ามีการเหลื่อมล้ำเข้าไปในเซลล์อื่นมากเกินไปก็สามารถที่จะลดกำลังส่งในสายอากาศของเซลล์เตอร์นั้นได้ เป็นต้น ในรูปที่ 3.24 ได้แสดงแพทเทิร์นของสายอากาศที่นำมาใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า

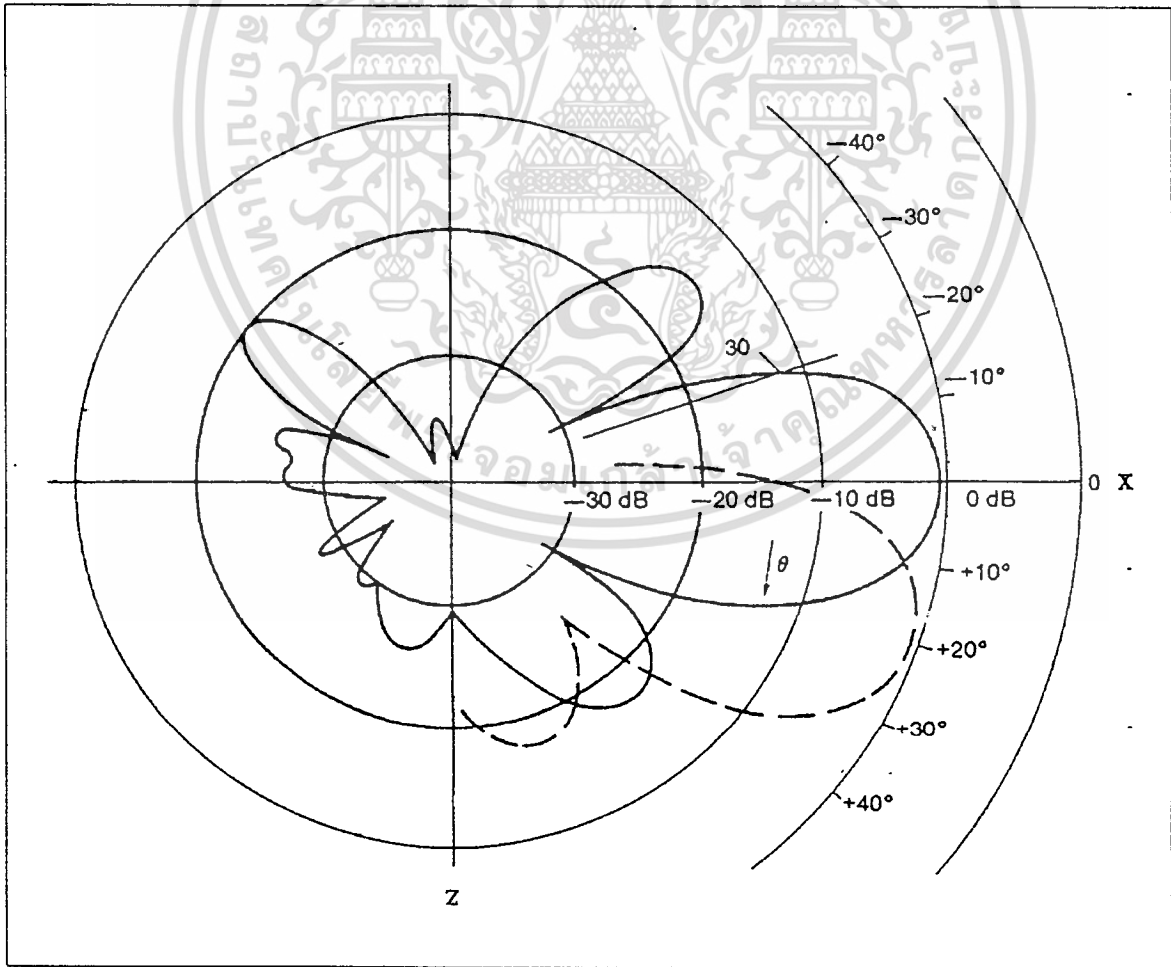
การลดการอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่มีประสิทธิภาพดีอีกอย่างหนึ่งก็คือ การปรับมุมเอียงของสายอากาศลง (Tilting Antenna Method) ที่จะสามารถปรับให้การแพร่กระจายของคลื่นต่ำลง เพื่อไม่ให้แพร่กระจายไปในแนวนอน ไปรอบๆ เซลล์อื่น ๆ ที่ใช้ความถี่เดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.24 การปรับมุมเอียงของสายอากาศลงนั้นนอกจากจะช่วยลดการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์แล้ว จะทำให้ระดับของสัญญาณในเซลล์มีความเข้มของสัญญาณที่สูงขึ้น และสามารถแก้ปัญหาในการเกิดโฮลขึ้นภายในเซลล์ได้อีกด้วยทางหนึ่ง

จากแพทเทิร์นของสายอากาศของสถานีฐานที่สามารถพิจารณาได้ 2 ลักษณะคือ แพทเทิร์นของสายอากาศในแนวนอน ที่แสดงในแนวแกน X-Z ดังในรูปที่ 3.26 และแพทเทิร์นของสายอากาศในแนวตั้งจะแสดงในแนวแกน X-Y ดังในรูปที่ 3.27 ซึ่งจากในรูปที่ 3.26 เมื่อมีการปรับมุมเอียงเป็นมุม θ (เส้นปะ) ค่าระดับของสัญญาณจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมก่อนที่จะมีการปรับมุมเอียง (มุม $\theta = 0$ องศา) แต่เมื่อพิจารณาในแนวตั้งจากในรูปที่ 3.27

จะเห็นว่าเมื่อมีการปรับมุมเอียงให้ตกลงจะทำให้ลักษณะของแพทเทิร์นเปลี่ยนแปลงไป คือในส่วนตรงกลางของบีมหลักจะมีค่าลดลง ซึ่งก็หมายความว่าสัญญาณที่แพร่กระจายออกไป ในส่วนนี้มีไม่สูงมากนักจึงทำให้สามารถที่จะลดการอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่จะไปรบกวนเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกันอื่น ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.28 ดังนั้นการเอียงของสายอากาศลงจึงเป็นส่วนที่ใช้ในการแก้ไขการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์อย่างมีประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่ง ข้อควรระวังในการปรับมุมเอียงของสายอากาศจะต้องไม่ทำให้สัญญาณในบริเวณของเซลล์ลดลงจนไม่สามารถใช้งานได้

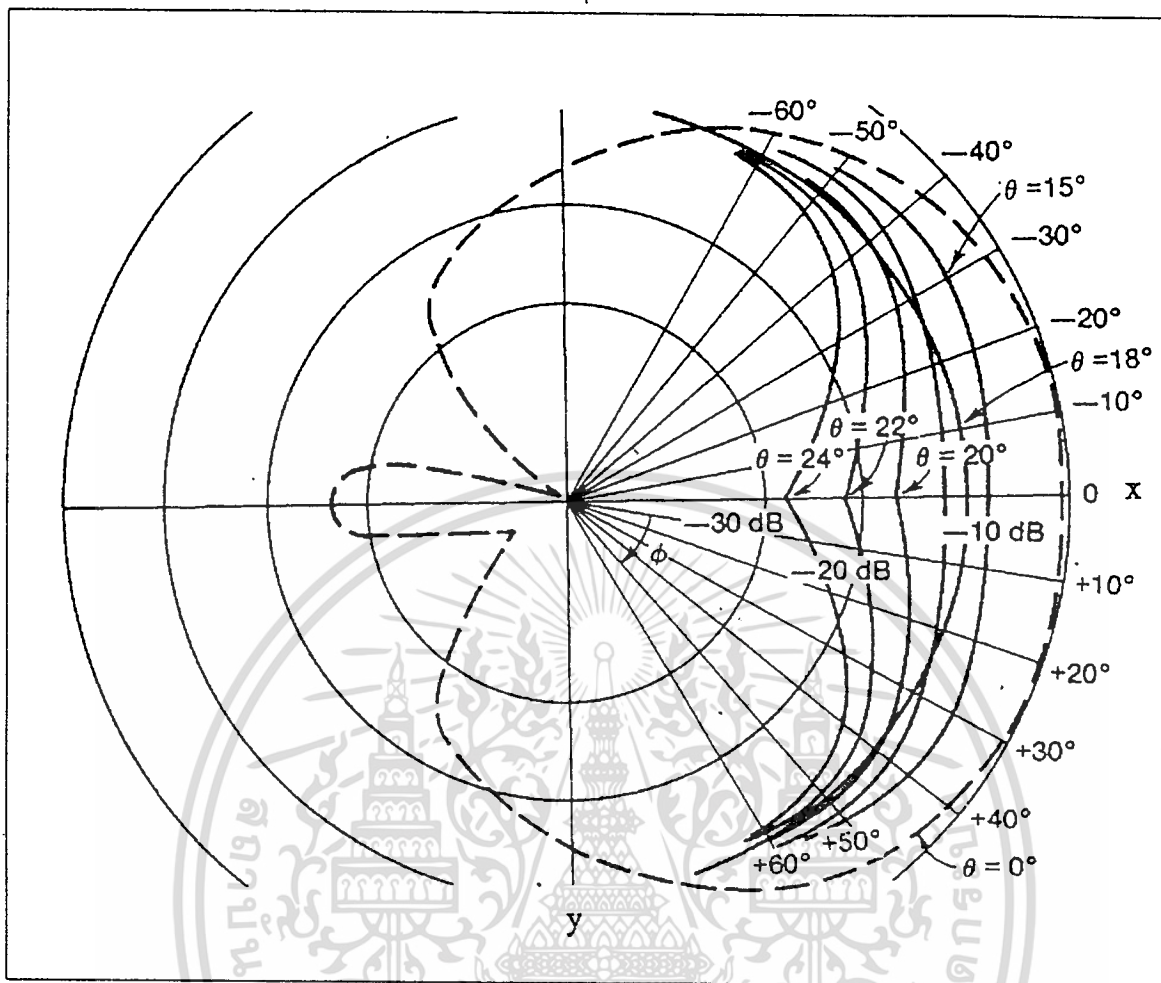


รูปที่ 3.25 ผลของขอบเขตของสัญญาณเมื่อการปรับมุมเอียงของสายอากาศ

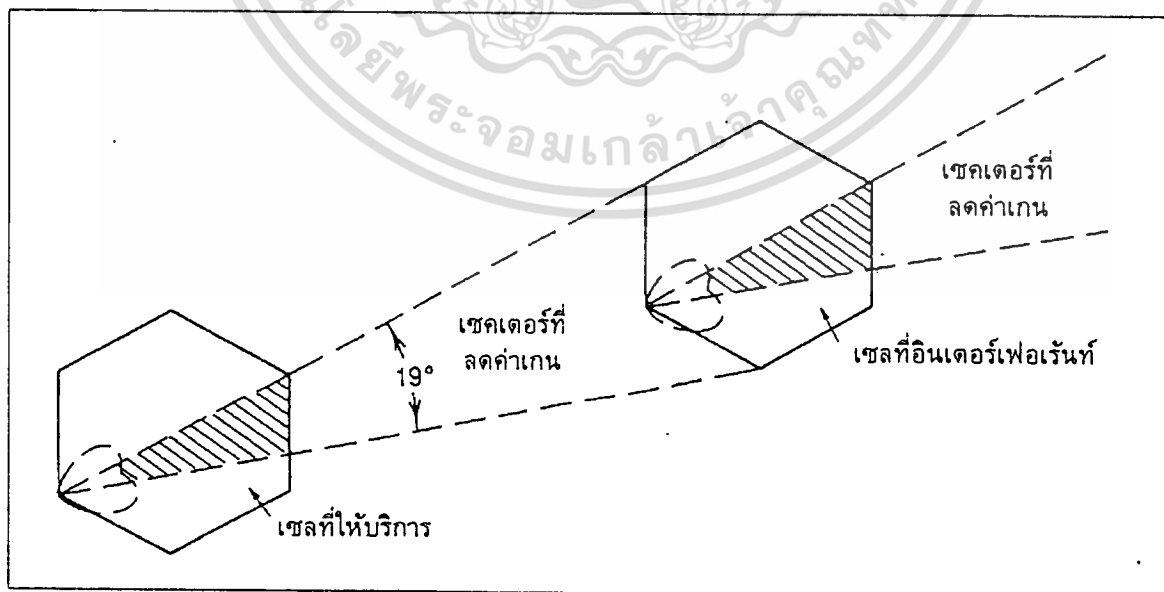


รูปที่ 3.26 แพทเทิร์นของสายอากาศแบบมีทิศทาง(แนว X-Z) เมื่อการปรับมุมเอียงของสายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 แพทเทิร์นของสายอากาศแบบมีทิศทาง(แนว X-Y) เมื่อการปรับมุมเอียงของสายอากาศ



รูปที่ 3.28 การปรับมุมเอียงของสายอากาศ จะช่วยลดการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ระหว่างเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

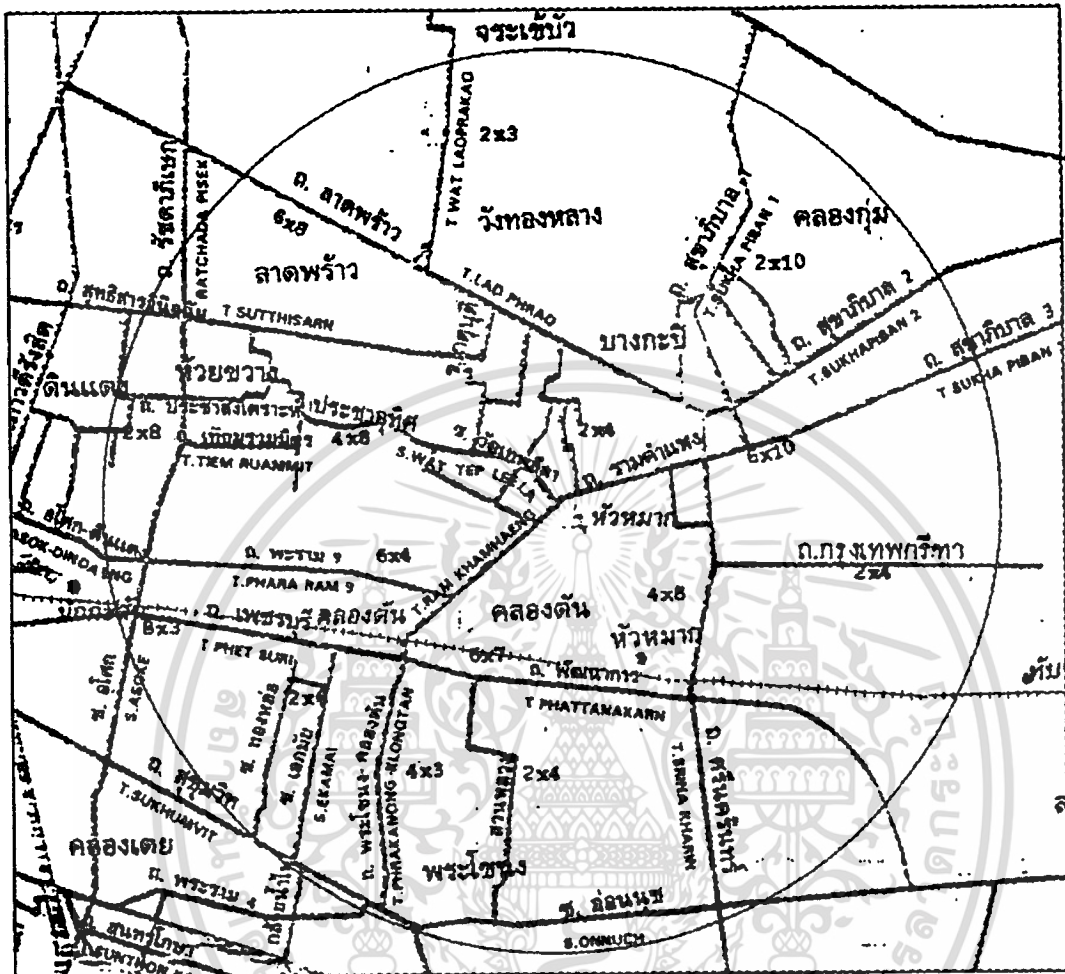
บทที่ 4

วิธีการออกแบบเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า

ในการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า จะต้องยึดถือการออกแบบระบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยคำนึงถึงจำนวนช่องของสัญญาณที่พอเพียงกับปริมาณทราฟฟิกการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ พื้นที่การให้บริการในขอบเขตที่กว้าง และคุณภาพของสัญญาณเสียงที่ชัดเจน ไม่มีสัญญาณรบกวน แต่ในปัจจุบันสิ่งที่มักเกิดขึ้นบ่อยๆ ในการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็คือ การรบกวนของสัญญาณอื่น หรือไม่สามารถโทรออก/โทรเข้าที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งเกิดจากปริมาณของทราฟฟิกการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีเพิ่มสูงมากจนเกินความสามารถของระบบที่จะรองรับได้ จึงต้องมีการปรับปรุงแก้ไขระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าใหม่ โดยใช้เทคนิคต่างๆ ที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 แต่สิ่งสำคัญก็คือการเปลี่ยนแปลงเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า เช่น ลดขนาดของเซลล์ เพื่อให้จำนวนของช่องสัญญาณต่อพื้นที่เซลล์มีจำนวนเพิ่มขึ้น เป็นต้น

ดังนั้นการออกแบบเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้มีประสิทธิภาพ สิ่งสำคัญในการพิจารณาเพื่อใช้ในการออกแบบเซลล์จะมีพารามิเตอร์ที่ใช้อยู่หลายส่วน จะสามารถแบ่งออกเป็นส่วนสำคัญ คือ ปริมาณทราฟฟิก (ที่ใช้ในปัจจุบันและในอนาคต) ขนาดของเซลล์ และระดับสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ได้รับ ในการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เดิมนั้น จะนำค่าปริมาณทราฟฟิกการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาจำนวนของช่องสัญญาณที่ใช้ในแต่ละเซลล์ เมื่อทราบจำนวนของช่องสัญญาณในแต่ละเซลล์ก็จะสามารถนำมาใช้ในการหาขนาดของเซลล์ที่ต้องการ โดยพิจารณาเซลล์ในการออกแบบที่มีลักษณะเป็นวงกลม แต่ในความเป็นจริงแล้วสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่จะมีการเกิดการลดทอนของสัญญาณขึ้น ซึ่งค่าการลดทอนนี้จะมีค่าแตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่ ดังนั้นจึงทำให้ขอบเขตของเซลล์จะมีลักษณะที่ไม่เป็นวงกลม ซึ่งทำให้การเชื่อมต่อระหว่างเซลล์จะเปลี่ยนแปลงไปจากกรณีที่พิจารณาเซลล์ที่มีลักษณะที่เป็นวงกลม อาจทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์หรือเหลื่อมล้ำเข้าไปในเซลล์อื่นมากเกินไป ดังนั้นการออกแบบเซลล์แบบใหม่นี้ จะใช้การหาขอบเขตของเซลล์แต่ละเซลล์ โดยการคำนวณหาระยะทางจากสถานีฐานไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่(d) ที่มีระดับสัญญาณเพียงพอที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะสามารถใช้งานได้ตามมาตรฐานของ CCIR (International Radio Consultative Committee) และ FCC (Federal Communication Commission) เมื่อทำการหาระยะทาง d รอบๆสถานีฐานทั้งหมดแล้ว จะทำให้สามารถทราบขอบเขตของเซลล์ที่ออกแบบได้ และเมื่อนำไปพิจารณาร่วมกับเซลล์ข้างเคียงที่ใช้การหาขอบเขตด้วยวิธีเดียวกัน บนแผนที่ภูมิศาสตร์ ก็จะทำให้สามารถที่จะออกแบบเซลล์ให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ต่อเนื่องกับเซลล์อื่น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงแผนที่การวางเซลล์ในเขตคลองตัน

4.1 การออกแบบเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์คู่

4.1.1 การหาขนาดของเซลล์และจำนวนช่องสัญญาณของเซลล์

ในการออกแบบเซลล์ในระบบโทรศัพท์ในส่วนแรกจะเป็นการหาขนาดของเซลล์จากปริมาณทราฟฟิกของการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ ปริมาณทราฟฟิกการใช้โทรศัพท์จะเป็นการใช้ข้อมูลทางสถิติของการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่และคาดการณ์ปริมาณของการทำงานในอนาคตด้วย ปริมาณของทราฟฟิกที่นำมาใช้ควรจะใช้ค่าจากปริมาณการใช้งานสูงสุดอย่างเช่น ในช่วงชั่วโมงธุรกิจ (9.00-11.30 น.) เป็นต้น ค่าปริมาณของทราฟฟิกจะใช้การคำนวณโดยใช้วิธีการของเออแลงด์ (Erlang) ดังนั้นการพิจารณาจำนวนของช่องสัญญาณที่รองรับปริมาณของทราฟฟิกการใช้งานโทรศัพท์สามารถจะหาได้จากวิธีการดังต่อไปนี้

สมมุติว่าทำการออกแบบเซลล์หนึ่งที่บริเวณพื้นที่เขตคลองตัน โดยมีศูนย์กลางของเซลล์หรือสถานีฐานอยู่ที่ปริมณีย์เขตคลองตัน มีรัศมีทำการประมาณ 5 กิโลเมตร จากในพื้นที่จำนวนของการใช้โทรศัพท์จะสามารถพิจารณาได้จากสภาพภูมิประเทศและสภาพการจราจรรถยนต์ จำนวนไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของการใช้งานโทรศัพท์จะขึ้นอยู่กับพื้นที่ อย่างเช่น ในบริเวณถนนสี่ลมที่เป็นถนนเศรษฐกิจ จะมีการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่บริเวณนั้นสูงมาก ส่วนในบริเวณเขตลาดกระบังจะมีการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ไม่มากนัก เป็นต้น จากในรูปที่ 4.1 จะประกอบไปด้วยถนน 8 เลน จำนวน 1 สาย ความยาวประมาณ 3 กิโลเมตร ถนน 6 เลน จำนวน 4 สาย ความยาวประมาณ 18 กิโลเมตร ถนน 4 เลน จำนวน 3 สาย ความยาวประมาณ 12 กิโลเมตร ถนน 2 เลน ประมาณ 7 สาย ความยาวประมาณ 15 กิโลเมตร เพราะฉะนั้นพื้นที่ถนนที่รถจะวิ่งได้มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} S &= (8 \times 3) + (6 \times 18) + (4 \times 12) + (2 \times 15) \\ &= 210 \text{ กิโลเมตร} \end{aligned}$$

ถ้าให้ค่าเฉลี่ยของรถยนต์ขับห่างกันประมาณ 10 เมตรต่อคัน ดังนั้นจึงมีรถอยู่ในชั่วโมงเร่งด่วนประมาณ

$$\begin{aligned} M &= 210,000 \text{ (เมตร)} / 10 \\ &= 21,000 \text{ คัน} \end{aligned}$$

จากการสำรวจการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ต่อจำนวนผู้ที่มีรถยนต์ จะมีอัตราส่วนประมาณ 1:10 และจำนวนของผู้ใช้อื่นๆนอกเหนือจากในรถยนต์ประมาณ 500 เครื่อง ดังนั้นจำนวนของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีจำนวนเท่ากับ

$$\begin{aligned} Q &= (21,000/10) + 500 \\ &= 2,600 \text{ เครื่อง} \end{aligned}$$

เมื่อทราบจำนวนของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่แล้ว จึงสามารถนำมาใช้ในการหาปริมาณกราฟฟิคการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (A) จากสมการของเอแอลค์ คือ

$$A = (Q_i \cdot T) / 60 \quad (4.1)$$

โดยที่ Q_i เป็นค่าปริมาณการใช้โทรศัพท์ใน 1 ชั่วโมง สมมติให้เป็น 50 เปอร์เซ็นต์ ของจำนวนของโทรศัพท์เคลื่อนที่ทั้งหมด (Q) ดังนั้น

$$Q_i = (0.5) \cdot Q$$

T คือ ค่าเฉลี่ยในการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่อการเรียก 1 ครั้ง สมมติให้มีค่า 1.76 นาที ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เช่าเห็นไปจะปรับจะเขียนหน้าการค้ำ

ไม่มีกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = (2,600 \times 0.5 \times 1.75) / 60$$

$$= 37.91 \text{ เออแลงค์}$$

จากปริมาณทราฟฟิกของเออแลงค์ สามารถนำไปหาค่าของจำนวนช่องสัญญาณที่ต้องการได้จากตารางเออแลงค์ ในภาคผนวกที่ 1 ถ้ากำหนดให้อัตราการบล็อกทางโทรศัพท์หรือเปอร์เซ็นต์ของการโทรแล้วไม่ติด (B) ในประเทศไทยใช้ที่ 1.5 ก็เพียงพอ เมื่อดูค่าในตารางของเออแลงค์ที่ $A = 37.91$ และ $B = 1.5\%$ จะได้ค่า $N = 48$ ดังในรูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงว่าในเขตของเซลล์จะต้องใช้ช่องสัญญาณประมาณ 48 ช่องสัญญาณ ถ้าใช้การวางเซลล์ในระบบ $k = 7$ ดังนั้นช่องสัญญาณรวมทั้งหมดจะเป็น $48 \times 7 = 336$ ช่องสัญญาณ เมื่อเทียบกับระบบ AMPS ที่ใช้ในประเทศจะมีช่องสัญญาณในแต่ละระบบ (ระบบ A และระบบ B) จะมีช่องสัญญาณ 333 ช่องสัญญาณ แต่จะถูกใช้เป็นช่องสัญญาณควบคุม 21 ช่องสัญญาณ จึงมีช่องสัญญาณเหลืออยู่ 312 ช่องสัญญาณ ดังนั้นในเซลล์ที่เขตคลองตันนี้จะสามารถรองรับปริมาณทราฟฟิกไม่พอเพียง เนื่องจากช่องสัญญาณไม่พอเพียงสำหรับการติดต่อที่มีอัตราการบล็อก(B) เท่ากับ 1.5% เมื่อมีการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ตามข้อกำหนดข้างต้น ซึ่งในทางทฤษฎีเราอาจจะลดความกว้างของเซลล์ลง แต่การใช้งานจริงจะต้องคำนึงถึงขอบเขตของเซลล์ที่พิจารณาจากระดับของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ อาจจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างรอยต่อของเซลล์กับเซลล์อื่น ๆ ซึ่งจะทำให้ในบริเวณจุดนั้นเป็นจุดที่มีการใช้งานแย่มากหรือใช้งานไม่ได้เลย

		A (Erlang)								
		B								
N	1.0%	1.3%	1.5%	2%	3%	5%	10%	20%	50%	
1	.0101	.0121	.0152	.0204	.0309	.0526	...	...	1.00
2	.153	.168	.190	.223	.282	.318	...	...	2.73
3	.455	.489	.535	.602	.715	.899	...	...	4.59
...									...	
...									...	
45	33.4	34.0	34.6	35.6	37.2	39.6	...	...	88.1
46	34.3	34.9	35.6	36.5	38.1	40.5	...	...	90.1
47	35.2	35.8	36.5	37.5	39.1	41.5	...	...	92.1
48	36.1	36.7	37.4	38.4	40.0	42.5	...	...	94.1
...	
120	013.0	104.0	105.4	107.4	110.7	115.8	...	...	238.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.2 แสดงการอ่านค่าจากตารางเออแลงค์ (A- erlang)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการหาจำนวนของช่องสัญญาณที่ใช้ในแต่ละเซลล์ข้างต้น ถ้าเราพิจารณากลับกันเพื่อหาขนาดของเซลล์ โดยที่เราทราบปริมาณทราฟฟิคที่ต้องการของพื้นที่นั้น และจำนวนของช่องสัญญาณของเซลล์ก็จะสามารถหาขนาดของเซลล์ได้เช่นเดียวกัน เมื่อทราบขนาดของเซลล์ที่ต้องการแล้วจึงนำมาพิจารณาระบบในการส่ง-รับสัญญาณ ตามหลักการแพร่กระจายคลื่น เพื่อหาขอบเขตของเซลล์ที่แท้จริงจะทำให้เราทราบพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบสถานีฐาน เช่น ความสูงของสายอากาศที่สถานีฐาน กำลังส่งของสถานีฐาน เป็นต้น

4.1.2 การหาพารามิเตอร์ของสถานีฐาน

สถานีฐานเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในโครงข่ายของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์ผ่านทางคลื่นวิทยุ ดังนั้นเราจะต้องทำการออกแบบสถานีฐานให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ตามขนาดของเซลล์ที่ได้ออกแบบไว้เบื้องต้น ซึ่งพารามิเตอร์ของสถานีฐานที่จะต้องพิจารณาคือประกอบด้วย กำลังส่งของเครื่องส่งที่สถานีฐาน ความสูงของสายอากาศและแกนของสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.3

จากสมการการแพร่กระจายของคลื่น(สมการที่ 3.5) จะเห็นว่าค่ากำลังงานที่รับได้ และกำลังงานที่ส่ง จะมีความสัมพันธ์กับระยะทาง (d) ซึ่งระยะทาง d ก็เปรียบเสมือนรัศมีของเซลล์ ดังนั้นเมื่อค่าแกนของสายอากาศรับและสายอากาศส่งเป็นค่าคงที่ ส่วนค่ากำลังงานที่รับได้จะทราบได้จากรายละเอียดคุณสมบัติของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตามที่ผู้ผลิตได้กำหนดไว้ ดังนั้น

$$P_r/P_t = G_r \cdot G_t \left(\lambda / 4\pi d \right)^2 \quad (4.2)$$

ถ้าสมมติในแกนของสายอากาศมีค่าเป็น 1 และใช้ความถี่ 850 MHz จะได้เป็น

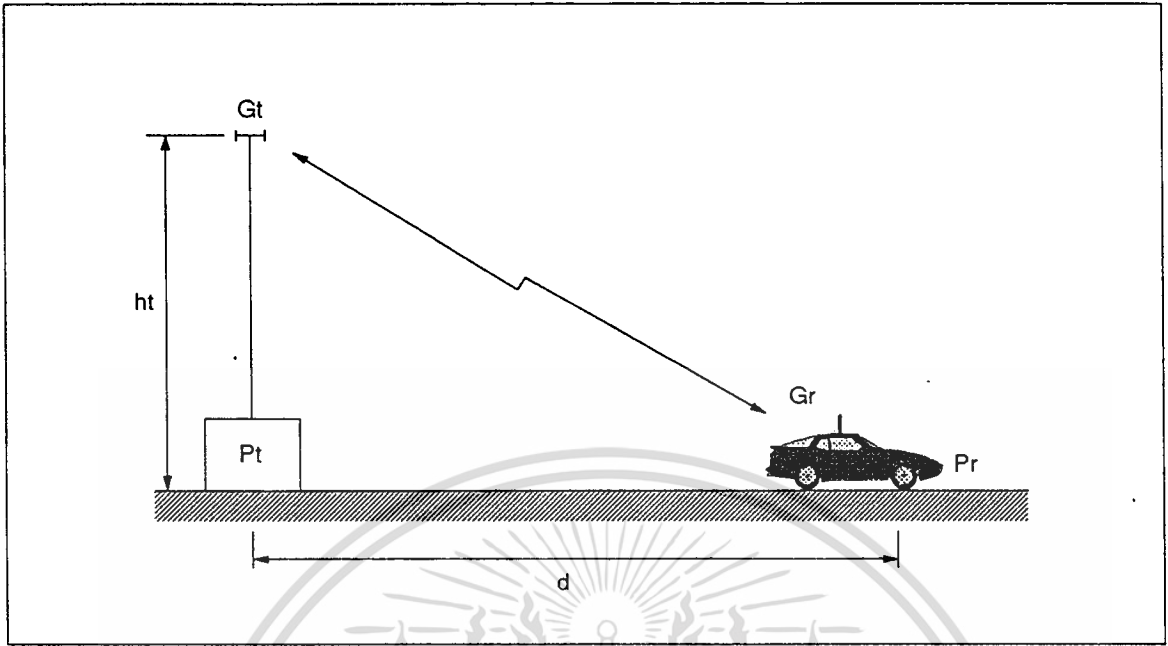
$$P_r = P_t (4\pi d^2 / \lambda)^2 \quad (4.3)$$

จากสมการที่ 4.3 จะทำให้สามารถทราบค่ากำลังส่งของสถานีฐานที่ต้องการของเซลล์ที่ได้ออกแบบ ส่วนค่าความสูงของสายอากาศจะสามารถพิจารณาได้จากสมการการลดทอนของสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (สมการที่ 3.21)

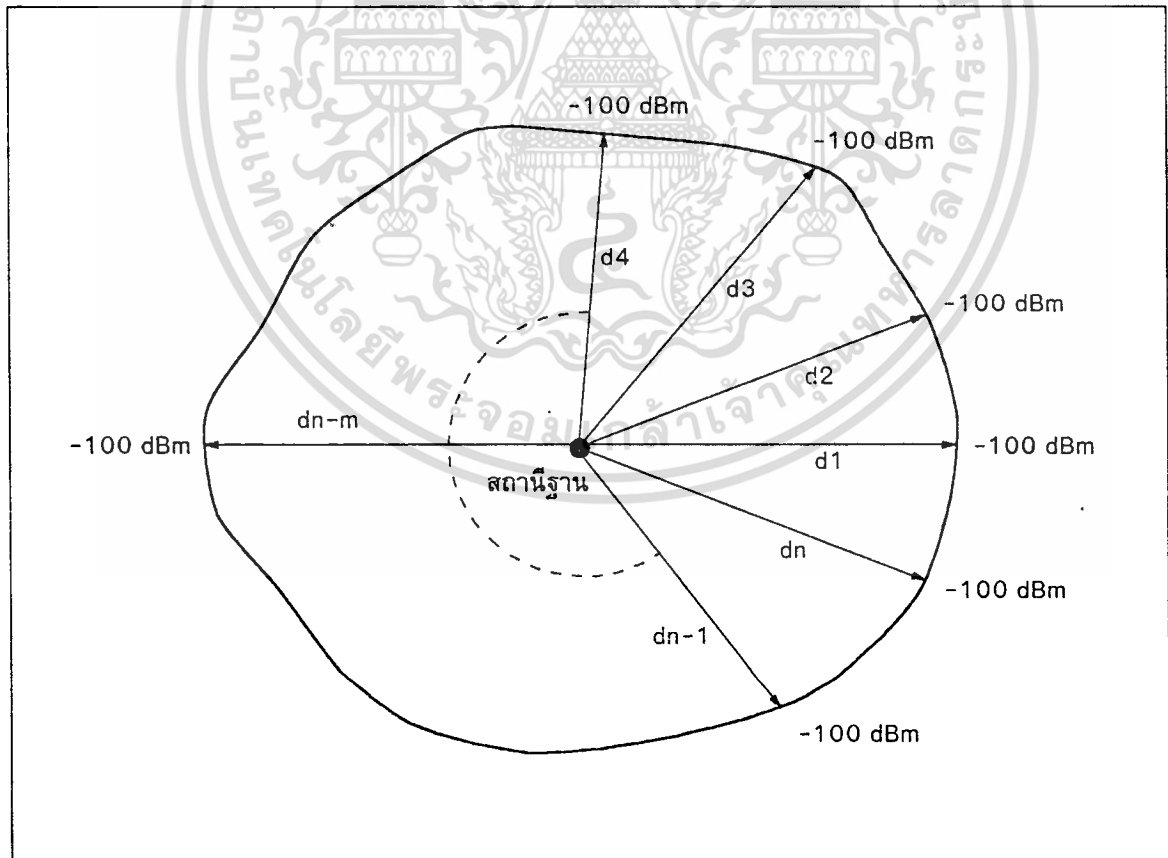
$$L = -10 \log G_t - 10 \log G_r - 20 \log (h_t \cdot h_r) + 40 \log d \quad (4.4)$$

เมื่อค่า G_t และ G_r มีค่าเป็น 1 และกำหนดให้ความสูงของสายอากาศที่เครื่องรับ (โทรศัพท์เคลื่อนที่) มีค่าเป็น 2 เมตร ส่วนค่าการลดทอนของสัญญาณ (L) ตามข้อกำหนดของ FCC และ CCIR กำหนดให้มีค่าไม่เกิน -100 dBm. นั่นก็หมายความว่า เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะต้องสามารถรับสัญญาณได้อย่างน้อยที่ -100 dBm. หรือมีค่าการลดทอนของสัญญาณได้ไม่เกิน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการแพร่กระจายคลื่น



รูปที่ 4.4 แสดงวิธีการหาขอบเขตของเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

100 dBm. จากสมการที่ 4.4 จะได้

$$20 \log h_r = 100(\text{dBm}) - 20 \log h_t + 40 \log d \quad (4.5)$$

จากสมการที่ 4.3 และสมการที่ 4.5 จะทำให้สามารถทราบค่ากำลังส่งของสถานีฐานและความสูงของสายอากาศ ในการออกแบบเซลล์ให้มีขนาดตามที่คำนวณได้ ซึ่งจากทางทฤษฎีแล้วเมื่อมีการเพิ่มกำลังส่งของสถานีฐานเพิ่มสูงขึ้น ขนาดของเซลล์จะมีความกว้างขึ้นด้วย เช่นเดียวกันถ้าความสูงของสายอากาศเพิ่มขึ้น ขนาดของเซลล์ก็จะมีขนาดที่กว้างขึ้นเช่นเดียวกัน แต่การเพิ่มความสูงของสายอากาศ อาจจะทำให้บริเวณใกล้ๆ สถานีฐานมีระดับสัญญาณที่น้อยลงได้ ตามลักษณะของแพทเทิร์นการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศ

4.1.3 การหาขอบเขตของเซลล์

จากการออกแบบเซลล์ โดยใช้การคำนวณจากสภาพทราฟฟิก จะเป็นการพิจารณาให้เซลล์มีลักษณะที่เป็นวงกลม ซึ่งก็หมายความว่า การแพร่กระจายของสัญญาณโดยรอบสถานีฐานมีลักษณะเท่ากันหมด แต่ในความเป็นจริงการแพร่กระจายของสัญญาณโดยรอบจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่อยู่โดยรอบสถานีฐานจะมีลักษณะที่แตกต่างกัน อย่างเช่น ทางด้านทิศเหนือของสถานีฐานเป็นพื้นที่โล่ง ส่วนพื้นที่ทางทิศใต้จะมีอาคารสำนักงานอยู่มาก จะเป็นการทำให้การลดทอนของสัญญาณทางด้านทิศใต้เกิดขึ้นสูงกว่าทางทิศเหนือของสถานีฐาน จึงเป็นผลทำให้ขอบเขตของเซลล์ในทางทิศใต้มีระยะทางที่ใกล้กว่าทางด้านทิศเหนือ ซึ่งเป็นที่โล่งมีการลดทอนของสัญญาณเกิดขึ้นน้อยกว่า เป็นต้น

หลักการในการหาขอบเขตของเซลล์ก็คือ การหาระยะทางจากสถานีฐานไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถจะใช้งานได้ ตามข้อกำหนดของ FCC ได้กำหนดให้ระดับสัญญาณต่ำสุดที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถใช้งานได้ไว้ที่ -100 dBm. หรือมีการลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ไม่เกิน 100 dBm. รอบๆ สถานีฐานในทิศทางต่างๆ และเมื่อลากจุดต่างๆ เหล่านี้เชื่อมต่อกัน ก็จะได้ขอบเขตของเซลล์นั้นตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

จากสมการการลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ในบทที่ 3 จะเห็นว่าจะมีพารามิเตอร์ของระยะทางอยู่ในสมการทุกๆ วิธีการ ดังนั้นเมื่อกำหนดค่าการลดทอนของสัญญาณไว้ที่ 100 dBm. และกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ตามสภาพแวดล้อม ก็สามารถที่จะหาระยะทางหรือจุดที่มีค่าการลดทอนของสัญญาณที่ 100 dBm. ได้ ซึ่งก็หมายถึงขอบเขตของเซลล์จุดหนึ่งๆ นั้นเอง ดังนั้นเมื่อหาระยะทางในเซกเตอร์ต่อไป พารามิเตอร์ต่างๆ ตามสภาพแวดล้อมจะเปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้ระยะทางที่ได้ในเซกเตอร์ต่างๆ มีค่าแตกต่างกัน เมื่อลากเส้นเชื่อมต่อแต่ละจุดโดยรอบแล้วจะทำให้ได้ขอบเขตของเซลล์ และเมื่อนำไปพิจารณาร่วมกับเซลล์อื่นๆ ที่ใช้หลักการหาขอบเขตของเซลล์ด้วยวิธีเดียวกัน ก็จะทำให้สามารถวิเคราะห์การเชื่อมต่อของเซลล์ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จากสมการการลดทอนของสัญญาณในวิธีการต่างๆ ที่กล่าวในบทที่ 3 จากผลของการเปรียบเทียบแล้ว ในวิธีการของ Hata และวิธีการของ Allsebrook และ Parsons ให้ค่าที่ดีที่สุด แต่จะเห็นว่าในวิธีการของ Hata จะใช้การ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดสภาพแวดล้อมเป็นกลุ่มพื้นที่ (เช่น เขตตัวเมือง เขตชานเมือง เขตพื้นที่โล่ง เป็นต้น) ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ในหลักการนี้ได้ จึงนำเอาเทคนิคการหาค่าการลดทอนของสัญญาณจากวิธีการของ Allsebrook และ Parsons มาใช้โดยจะมีสมการดังนี้

$$L_T(\text{dB}) = L_F + \sqrt{(L_P - L_F)^2 + L_D^2} + L_B + \gamma \quad (4.6)$$

- ค่าการลดทอนของสัญญาณในอากาศ (L_F)

$$L_F(\text{dB}) = 32.45 + 20 \log_{10} fc + 20 \log_{10} R \quad (4.7)$$

- ค่าการลดทอนของสัญญาณจากพื้นโลก (L_P)

$$L_P(\text{dB}) = -10 \log_{10}(G_t G_r) - 20 \log_{10}(h_t h_r) + 20 \log_{10} fc + 40 \log_{10} R \quad (4.8)$$

- ค่าการลดทอนของสัญญาณจากการหักเหของคลื่น (L_D)

จะสามารถหาได้จากค่าความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์เฟรสเนลเคอร์ซอพฟ์ (Fresnel - Kirchoff Parameter - V) ซึ่งค่าของการลดทอนสัญญาณ L_D จะมีค่าดังนี้

$$1 \leq V \quad ; \quad L_D = 0 \text{ dB} \quad (4.9)$$

$$0 \leq V < 1 \quad ; \quad L_D = 20 \log (0.5 + (6.2) \cdot V) \quad (4.10)$$

$$-1 \leq V < 0 \quad ; \quad L_D = 20 \log (0.5e^{(0.95)V}) \quad (4.11)$$

$$-2.4 \leq V < -1 \quad ; \quad L_D = 20 \log (0.4 - \sqrt{0.1148 - ((0.1) \cdot V + 0.38)^2}) \quad (4.12)$$

$$V < -2.4 \quad ; \quad L_D = 20 \log (-0.225/V) \quad (4.13)$$

ค่าพารามิเตอร์ของเฟรสเนลเคอร์ซอพฟ์ (V) สามารถพิจารณาได้จากในรูปที่ 4.5 จะแสดงค่าต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกรณีที่เกิดจุดกีดขวางทางเดินของคลื่นขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นค่าการลดทอนของสัญญาณนี้เราสามารถหาได้จากเทอมของพารามิเตอร์เฟรสเนลเคอร์ซอพฟ์ (V) ได้ดังนี้

$$V = -hp \sqrt{(2/\lambda)(1/r_1 + 1/r_2)} \quad (4.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ hp คือ ความสูงของส่วนที่กีดขวางทางเดินของคลื่นเทียบกับระนาบเส้นตรงระหว่างสายอากาศส่ง ที่สถานีฐานกับสายอากาศรับที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

λ คือ ค่าความยาวคลื่น

r_1 คือ ระยะทางจากสถานีฐานไปยังจุดยอดของสิ่งกีดขวาง

r_2 คือ ระยะทางจากจุดยอดของสิ่งกีดขวางไปยังเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่

ในการใช้งานจริง ๆ แล้วระยะทางของ r_1' และ r_2' เมื่อเทียบกับค่าความสูงของสายอากาศที่สถานีฐาน (hb) แล้ว จะมีอัตราส่วนที่แตกต่างกันมากคือระยะทางของ r_1' และ r_2' จะมีค่าเป็นกิโลเมตร ส่วนค่าความสูงของสายอากาศที่สถานีฐานจะมีค่าเป็นเมตร เพราะฉะนั้นแล้วจะเสมือนว่าค่าของ $r_1' = r_1$ และ $r_2' = r_2$

ส่วนค่าความสูง hp จะสามารถหาได้จาก

$$hp = hg - (hm' + hd) \quad (4.15)$$

ซึ่งจากในรูปที่ 4.5 เราสามารถที่จะเขียนเป็นลักษณะของรูปสามเหลี่ยมคล้ายได้ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งจะได้

$$hd = (hb' - hm') / ((r_1 + r_2) \cdot r_2) \quad (4.16)$$

โดยที่ hg = ค่าความสูงของพื้นที่เทียบกับระดับน้ำทะเล

hb' = ค่าความสูงของสายอากาศที่สถานีฐานเทียบกับระดับน้ำทะเล

hm' = ค่าความสูงของสายอากาศที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่เทียบกับระดับน้ำทะเล

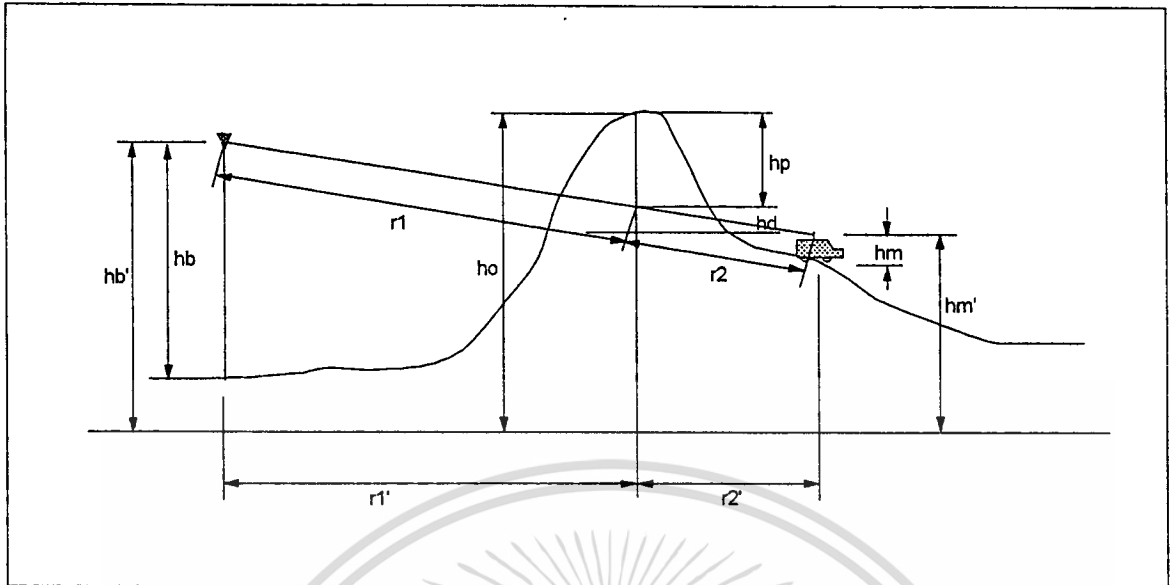
เมื่อนำค่าของสมการที่ 4.15 และ 4.16 ลงในสมการที่ 4.14 จะทำให้สามารถทราบค่าของพารามิเตอร์เฟรสเนลเคอร์ซอพฟ์ (V) และนำไปใช้ในการหาค่าการลดทอน L_D ได้ในสมการที่ 4.9 ถึงสมการที่ 4.13

ในกรณีที่มีจุดกีดขวางทางเดินของคลื่นระหว่างเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐานมากกว่า 1 จุด ดังในรูปที่ 4.7 ค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากสิ่งกีดขวางจะถูกแบ่งการพิจารณาแยกออกเป็นแต่ละส่วนตามวิธีการของ Epstein - Peterson ที่จะมีค่าเท่ากับ

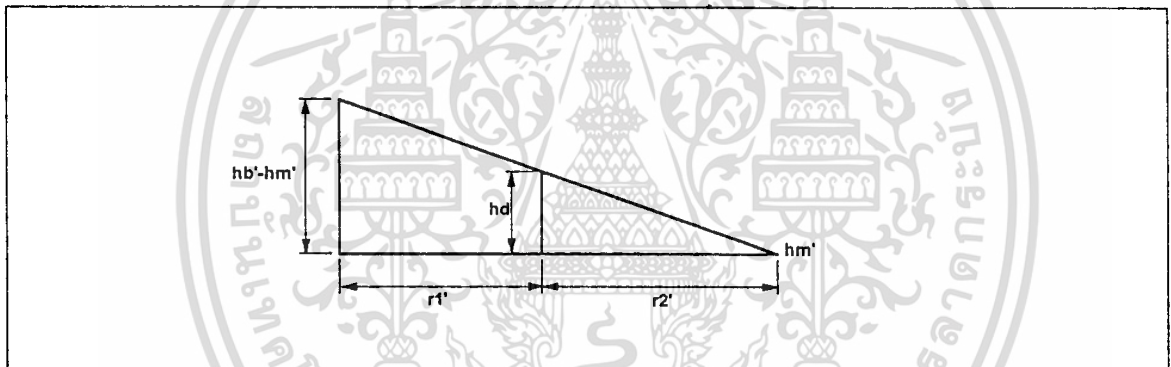
$$L_D = L_{D1} + L_{D2} + L_{D3} + \dots + L_{Dn} \quad (4.17)$$

โดยที่ $L_{D1}, L_{D2}, L_{D3}, \dots, L_{Dn}$ คือ ค่าการลดทอนสัญญาณ L_D ที่เกิดจากสิ่งกีดขวางทางเดินคลื่นแต่ละจุด

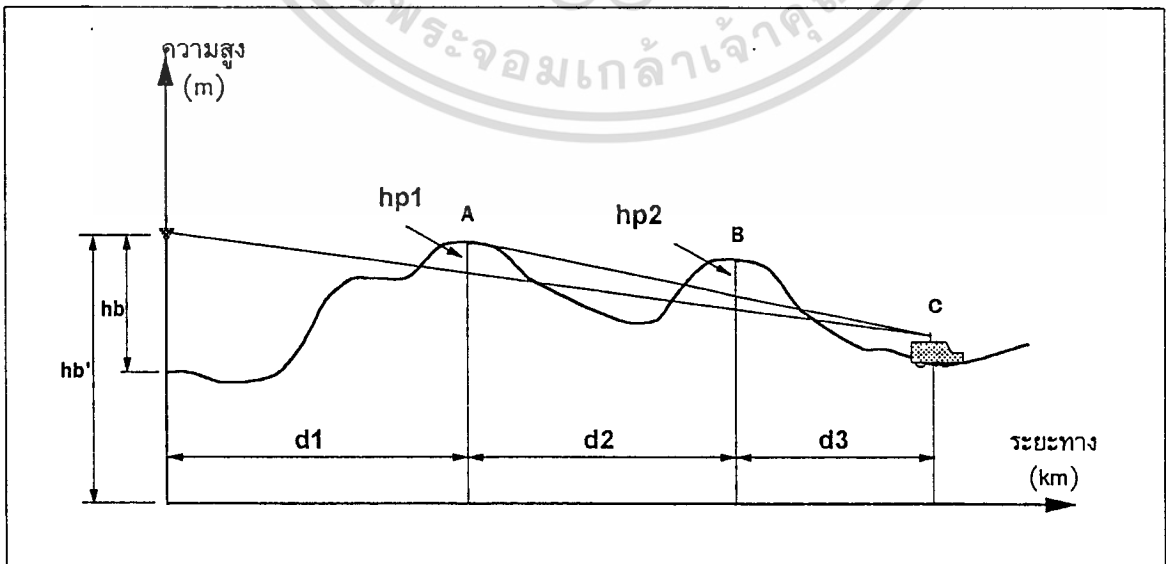
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงการหาค่าพารามิเตอร์เฟรสนเนลเคอร์ฟ (V)



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของความสูงในจุดต่างๆ



รูปที่ 4.7 แสดงการหาค่าการลดทอน LD ในกรณีที่เกิดจุดกีดขวางทางเดินของคลื่นมากกว่า 1 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างในรูปที่ 4.7 จะเกิดการลดทอน L_D ขึ้น 2 ค่า คือ L_{D1} และ L_{D2} โดย $L_{D1} = f(d_1, d_2, h_{p1})$ ที่เกิดขึ้นจากจุด A และ $L_{D2} = f(d_2, d_3, h_{p2})$ ที่เกิดขึ้นจากจุด B

- ค่าการลดทอนเนื่องจากสิ่งก่อสร้าง (L_B) สามารถหาได้จาก

$$L_B \text{ (dB)} = 20 \log \left(\frac{h_o - h_m}{548 \sqrt{(d_2 \times 10^{-3}) \cdot f_c}} \right) + 16 \quad (4.18)$$

โดยที่ h_o คือ ค่าความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้าง (เมตร)

d_2 คือ ค่าความกว้างของถนนโดยเฉลี่ย (เมตร)

เมื่อแทนค่าสมการที่ 4.7 สมการที่ 4.8 สมการที่ 4.9-4.13 และสมการที่ 4.18 ลงในสมการที่ 4.6 ก็จะได้สมการการลดทอนรวมของสัญญาณได้ เมื่อทราบสมการในการคำนวณหาค่าการลดทอนของสัญญาณ ก็จะสามารถหาจุดที่มีค่าของสัญญาณที่ -100 dBm. ได้ ซึ่งก็คือขอบเขตของเซลล์และเมื่อหาในลักษณะเดียวกันในทิศทางต่างๆ รอบสถานีจะทำให้เราสามารถทราบขอบเขตของเซลล์ได้

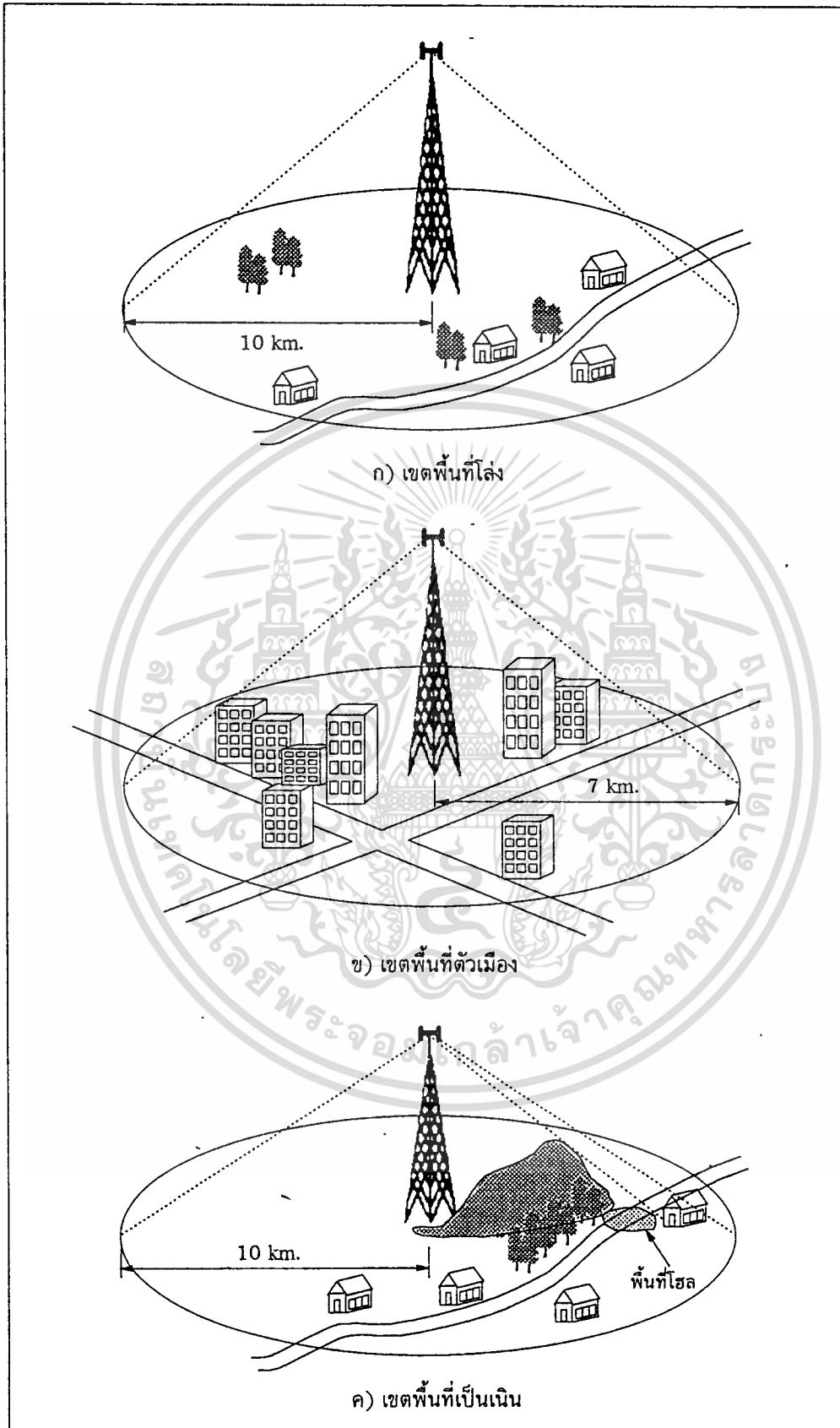
4.1.4 การหาขอบเขตของเซลล์ในพื้นที่ต่างๆ

ในการออกแบบเซลล์ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงพื้นที่ของการให้บริการด้วย เนื่องจากสภาพแวดล้อมต่างๆ ของแต่ละพื้นที่ที่จะมีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังเช่น ในพื้นที่โล่ง การลดทอนของสัญญาณเกิดขึ้นน้อย ทำให้การแพร่กระจายของคลื่นไปได้ไกล แต่ถ้าอยู่ในเขตพื้นที่ตัวเมือง ที่มีสิ่งก่อสร้างสูงๆ อยู่มาก จะมีค่าการลดทอนของสัญญาณที่สูง ทำให้การแพร่กระจายของคลื่นไปได้ไม่ไกล เป็นต้น ดังนั้นเราจะสามารถแบ่งการพิจารณาเพื่อหาขอบเขตของเซลล์ในพื้นที่ต่างๆ ดังนี้

- ในเขตพื้นที่โล่ง การแพร่กระจายของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเขตพื้นที่โล่ง อย่างเช่นเขตของทุ่งหญ้า หนองนา และบ้านพักอาศัยที่ไม่สูงมากนัก เป็นต้น โดยที่พื้นที่ที่จะมีลักษณะที่ราบเรียบ การลดทอนของสัญญาณเนื่องจากสิ่งก่อสร้าง (L_B) และการลดทอนของสัญญาณจากการหักเหของคลื่น (L_D) จะเกิดขึ้นน้อยมากหรือไม่เกิดขึ้นเลย ดังนั้นค่าการลดทอนของสัญญาณจึงเหลือเพียงค่าการลดทอนของสัญญาณจากพื้นโลก (L_P) ดังนั้นจากสมการค่าการลดทอนรวม (L_T) ในสมการที่ 4.6 จะได้เป็น (เมื่อ $L_D = L_B = 0$)

$$L_T \text{ (dB)} = L_P + \sqrt{(L_P - L_P)^2 + 0} + 0 = L_P \quad (4.19)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

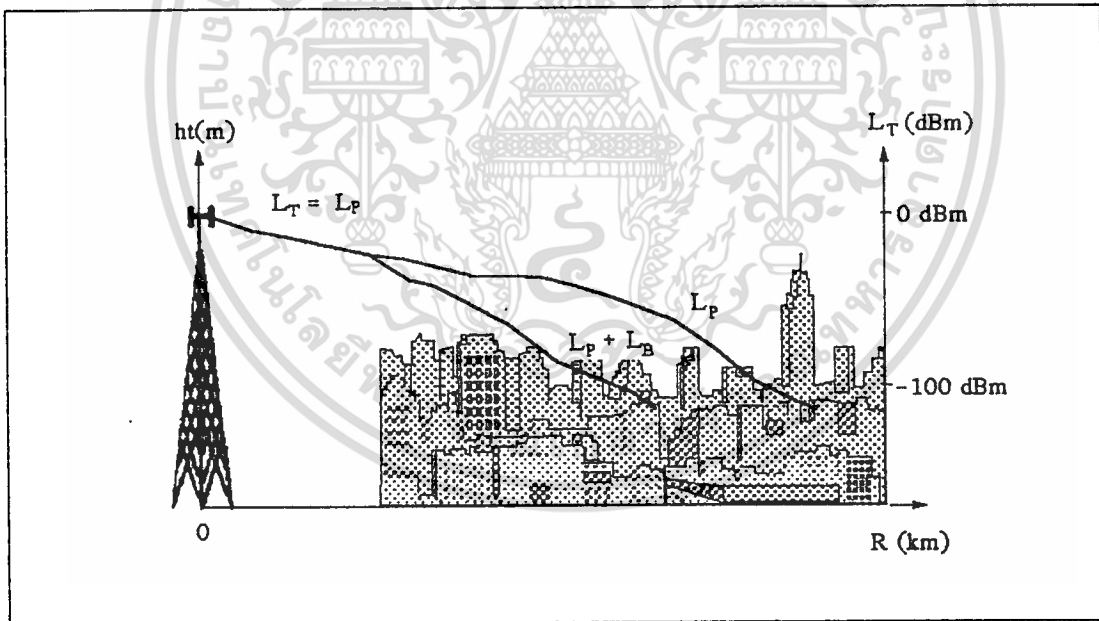


รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะการครอบคลุมพื้นที่ของเซล ในเขตพื้นที่ต่างๆ
 เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 (โดยกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของสถานีฐานเหมือนกัน)
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$L_T(\text{dB}) = -10\log_{10}(G_t G_r) - 20\log_{10}(h_t h_r) + 20\log_{10}fc + 40\log_{10}R \quad (4.20)$$

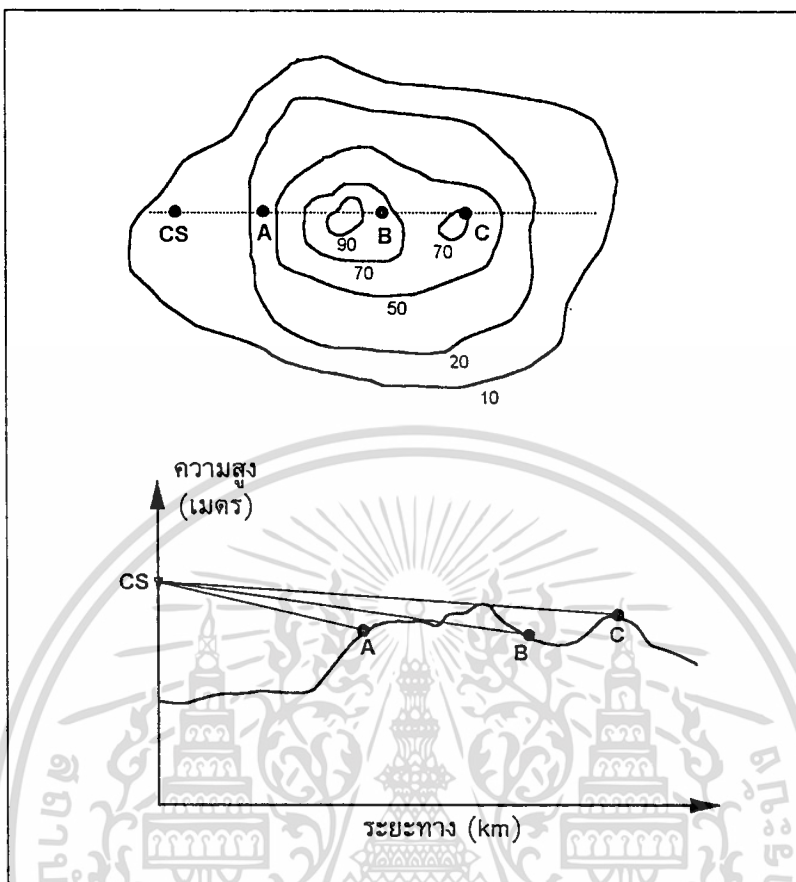
- ในเขตพื้นที่ตัวเมือง การแพร่กระจายของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเขตพื้นที่ตัวเมือง จะเป็นพื้นที่ที่มีประชากรอยู่หนาแน่น มีสิ่งก่อสร้างอาคารสูงๆ อย่างมาก เช่น คอนโดมิเนียม อาคารของสำนักงาน โรงแรม เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะทำให้เกิดการลดทอนของสัญญาณที่เพิ่มสูงขึ้น ดังเช่นในรูปที่ 4.9 จะเห็นว่า ในระยะทางช่วงแรกที่ใกล้กับสถานีฐานจะยังไม่มีสิ่งก่อสร้างสูงๆ ค่าการลดทอนของสัญญาณจะเหมือนกับในเขตพื้นที่โล่ง คือ $L_T = L_P$ แต่เมื่อเริ่มมีสิ่งก่อสร้างเพิ่มขึ้น ค่าการลดทอนจะเพิ่มขึ้นจากเดิมตามสภาพแวดล้อม ซึ่งค่า $L_T = L_P + L_B$ ในเขตพื้นที่ตัวเมืองส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ราบเรียบ ดังนั้นจะทำให้ค่าของ L_D มีค่าน้อยมากๆ ($L_D \rightarrow 0$) ดังนั้นค่าการลดทอนรวมจากสมการที่ 4.6 จะมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} L_T(\text{dB}) &= L_P + \sqrt{(L_P - L_P)^2 + L_D^2} + L_B + \gamma \\ &= L_P + L_B + \gamma \end{aligned} \quad (4.21)$$

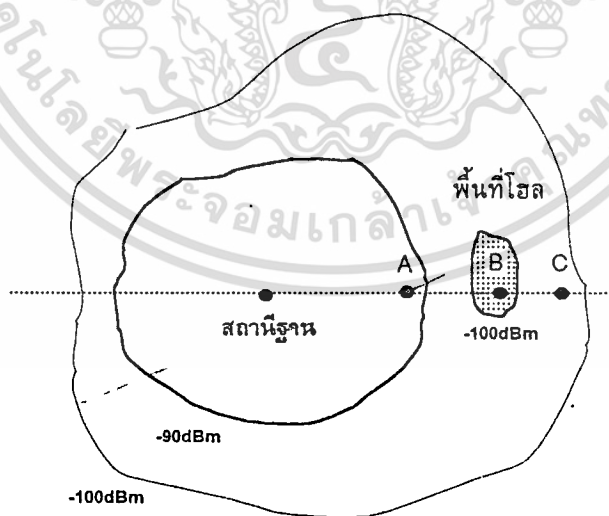


รูปที่ 4.9 แสดงการเกิดการลดทอนของสัญญาณในเขตพื้นที่ตัวเมือง

- ในเขตพื้นที่เป็นเนิน การแพร่กระจายของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเขตพื้นที่เป็นเนิน เช่น บางพื้นที่ในเขตต่างจังหวัดของประเทศไทย จะมีลักษณะที่ไม่ราบเรียบ เป็นเนินเขา ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการขวางเส้นทางเดินของคลื่น(Knife-edge) ซึ่งแตกต่างจากการกีดขวางเนื่องจากสิ่งก่อสร้างที่คลื่นสามารถจะสะท้อนจากสิ่งก่อสร้างอื่นๆมายังเครื่องรับได้ ทำให้พื้นที่หลังเนินเขา มีระดับสัญญาณที่ต่ำ แต่เมื่อเคลื่อนที่ออกห่างจากสถานีฐานจนไม่เกิดการกีดขวางทางเดินของคลื่นไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) แสดงลักษณะของพื้นที่เป็นเนิน



ข) แสดงพื้นที่ให้บริการของเซล

รูปที่ 4.10 แสดงขอบเขตของเซล ในพื้นที่เป็นเนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็จะมีระดับสัญญาณที่สูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ดังนั้นพื้นที่ที่อยู่หลังเนินและมีระดับสัญญาณที่ต่ำจนไม่สามารถใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ จะเรียกว่า พื้นที่โฮล (Hole) หรือพื้นที่แรเงาจากในรูปที่ 4.10 (ข) จึงต้องนำค่าการลดทอนของสัญญาณจากการหักเหของคลื่น (L_D) มาใช้ในการหาค่าการลดทอนของสัญญาณรวมด้วย ดังนั้นจะทำให้ค่าการลดทอนของสัญญาณรวม (L_T) มีค่าเป็น

$$L_T(\text{dB}) = L_P + \sqrt{(L_P - L_F)^2 + L_D^2} + L_B + \gamma \quad (4.22)$$

แต่ถ้าพิจารณาในเขตพื้นที่เป็นเนินแล้ว ส่วนใหญ่แล้วจะไม่ค่อยมีสิ่งก่อสร้างสูง ๆ อยู่ด้วย ดังนั้นค่าการลดทอนเนื่องจากสิ่งก่อสร้าง (L_B) จึงมีผลกระทบที่น้อยมากใกล้เคียงศูนย์ ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$L_T(\text{dB}) = L_P + \sqrt{(L_P - L_F)^2 + L_D^2} \quad (4.23)$$

4.2 โปรแกรมในการออกแบบเซลล์ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า

จากสมการต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาขอบเขตของเซลล์ จะเห็นว่าจะต้องมีการคำนวณที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ กันหลายครั้ง เพื่อหาจุดที่มีระดับสัญญาณที่ -100 dBm. ในบริเวณรอบ ๆ สถานีฐาน ดังนั้นจึงควรที่จะนำคอมพิวเตอร์มาใช้ในการคิดคำนวณค่าต่าง ๆ จากสมการเหล่านี้ โดยการสร้างโปรแกรมในการคำนวณเพื่อหาขอบเขตและเลือกตำแหน่งของเซลล์ที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ได้ค่าการคำนวณที่มีความเที่ยงตรงสูงและรวดเร็ว รวมทั้งสามารถที่จะเก็บไว้ในลักษณะของไฟล์ บนแผ่นดิสก์เก็ตหรือฮาร์ดดิสก์ ที่สามารถเรียกกลับมาใช้งานใหม่ได้ง่าย หรือทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบเซลล์ได้โดยง่ายและยังสามารถพิมพ์ลงบนแผนที่ทางภูมิศาสตร์ได้ ทำให้สามารถที่จะพิจารณาขอบเขตของเซลล์ในโครงข่ายของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ชัดเจน ก่อนที่จะมีการลงทุนสร้างสถานีฐานหรือปรับเปลี่ยนสถานีฐาน ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการวางระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า

4.2.1 การทำงานของโปรแกรมการออกแบบเซลล์

การทำงานของโปรแกรมนี้เป็นโปรแกรมการออกแบบเซลล์และเลือกหาตำแหน่งของเซลล์ในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่า โดยเขียนขึ้นจากภาษาเบสิกซึ่งมีการใช้งานอย่างกว้างขวาง เมื่อเข้าสู่โปรแกรม จะไปพบคีย์ส่วนของเมนูหลัก จะสามารถเข้าสู่โปรแกรมย่อย 3 ส่วน คือ โปรแกรมการจับเก็บข้อมูลของพื้นที่ โปรแกรมการหาขอบเขตของเซลล์ และส่วนของโปรแกรมการพิมพ์ขอบเขตของเซลล์ ซึ่งจะมีโครงสร้างหลักในรูปที่ 4.11

ในส่วนของโปรแกรมการจับเก็บข้อมูลของพื้นที่ จะเป็นส่วนที่นำข้อมูลที่สำรวจมาจากสภาพแวดล้อมของพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งข้อมูลที่ต้องการนำมาใช้ในการคำนวณหาขอบเขตของเซลล์คือ ข้อมูลของระดับความสูงของพื้นที่ และข้อมูลความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้างข้อมูลทั้งสองอย่างนี้ จะถูกพิจารณาเก็บเป็นลักษณะของตาข่าย ที่ในแต่ละช่องจะครอบคลุมพื้นที่ตามกำหนดตามความ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยาบหรือละเอียดของข้อมูลที่สำรวจ แต่ในส่วนของโปรแกรมนี้จะกำหนดให้มีพื้นที่ 500 x 500 ตรม. ดังในรูปที่ 4.12 ดังนั้นเมื่อไปทำการสำรวจพื้นที่จริงในพื้นที่ 500 x 500 ตรม. ก็จะได้ค่าของความสูงเฉลี่ยของพื้นที่นั้น และความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้าง ข้อมูลความสูงเฉลี่ยของพื้นที่จะสามารถพิจารณาได้จากแผนที่ระดับความสูงของพื้นดินของทหาร (Land Scape) ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ก) แล้วแบ่งพื้นที่ออกเป็นตาข่าย โดยให้ 1 ช่องมีค่า 100 x 100 ตรม. หลังจากนั้นก็จะพิจารณาค่าความสูงเฉลี่ยของพื้นที่ในแต่ละช่อง ซึ่งจะทำให้ข้อมูลความสูงของพื้นที่เพื่อใช้ในการออกแบบเซลล์ไซต์ ดังในรูปที่ 4.13 (ข)

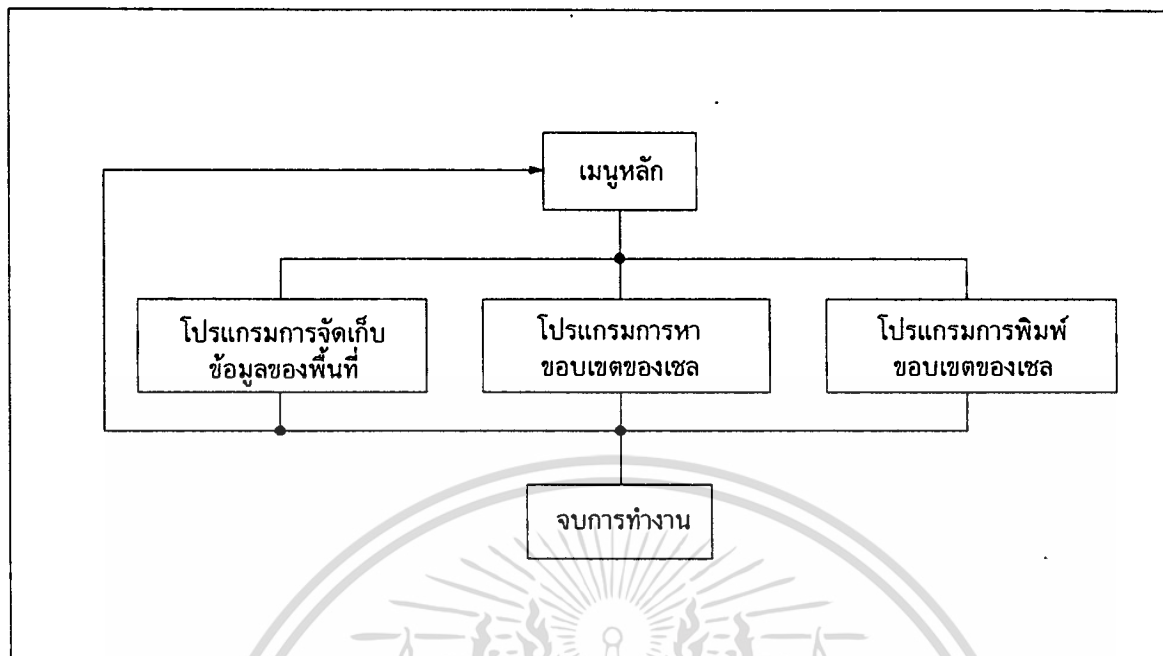
ส่วนการจัดข้อมูลความสูงของสิ่งก่อสร้าง ก็จะใช้การแบ่งพื้นที่เช่นเดียวกับข้อมูลความสูงของพื้นที่ คือแบ่งพื้นที่ออกเป็นลักษณะตาข่าย ที่ให้แต่ละช่องมีพื้นที่เท่ากับ 500 x 500 ตรม. จากนั้นจึงพิจารณาหาค่าความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้างในแต่ละช่องนั้นโดยการนำความสูงของสิ่งก่อสร้างในพื้นที่ 1 ช่องมารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนของสิ่งก่อสร้างในพื้นที่นั้น ดังนั้นจึงมีค่าความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้าง

$$\text{ค่าความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้าง} = \frac{\text{ผลรวมของความสูงของสิ่งก่อสร้างทั้งหมดในพื้นที่}}{\text{จำนวนของสิ่งก่อสร้างในพื้นที่}} \quad (4.24)$$

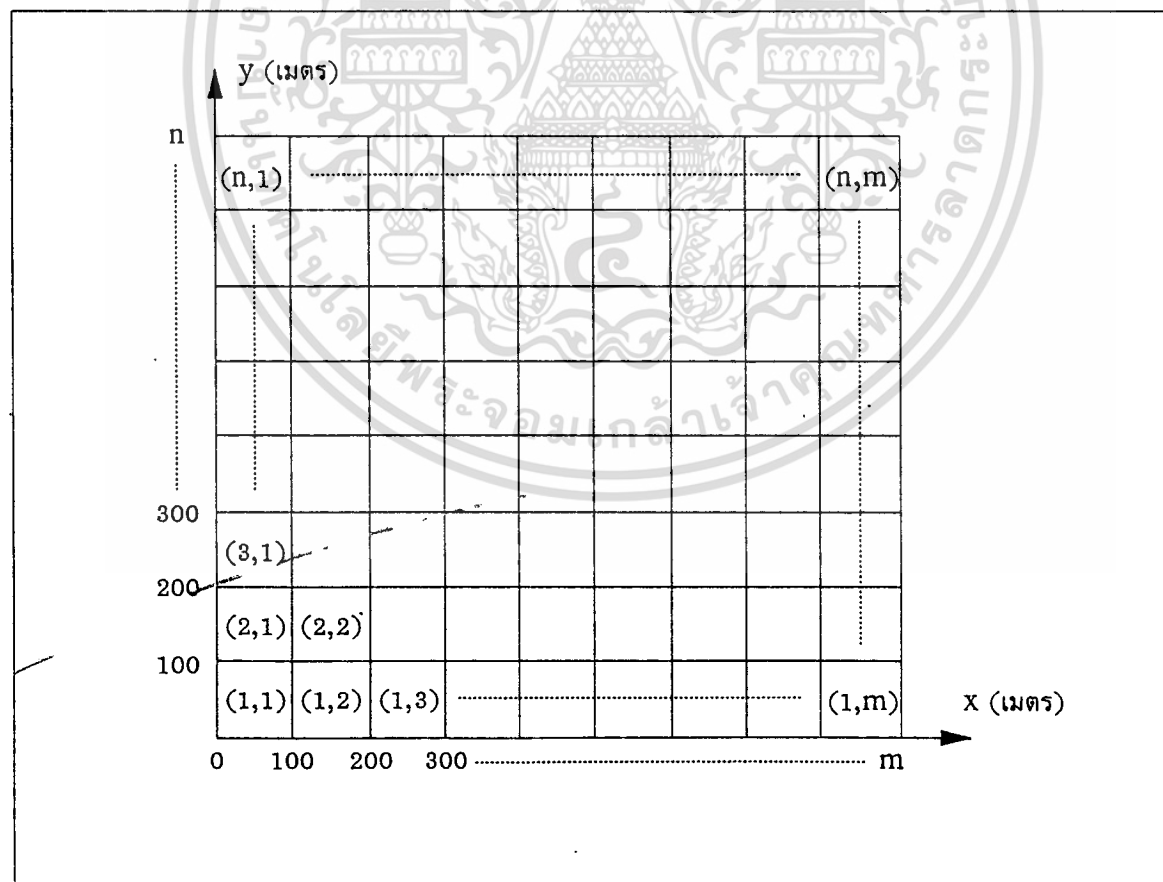
ในส่วนของโปรแกรมการหาขอบเขตของเซลล์ จะได้จากการคำนวณหาจุดที่มีระดับสัญญาณที่ -100 dBm. รอบ ๆ สถานีฐาน จากข้อมูลของพื้นที่และพารามิเตอร์ของสถานีฐานและเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งได้แก่ ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีฐาน ความถี่ที่ใช้งาน ความสูงของสายอากาศที่สถานีฐานและที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ค่าเกณฑ์ของสายอากาศที่สถานีฐานและที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นต้น ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะนำไปใช้คำนวณในสมการการลดทอนของสัญญาณในสมการที่ 4.6 แล้วจะหาจุดที่มีการลดทอนของสัญญาณที่ 100 dBm. ซึ่งเป็นค่าที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จะสามารถรับสัญญาณได้ ตามมาตรฐานของ FCC และ CCIR เมื่อมีการคำนวณจนรอบสถานีฐานครบ 360° ก็จะได้จุดที่มีค่าการลดทอนของสัญญาณที่ 100 dBm. อยู่รอบ ๆ ดังนั้นเมื่อลากเส้นต่อเนื่องระหว่างจุดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ก็จะทำให้สามารถทราบขอบเขตของเซลล์ที่ได้จากสถานีฐานนั้น ๆ

เมื่อได้ขอบเขตของเซลล์ที่ต้องการแล้ว ก็จะต้องมาพิจารณากับเซลล์ที่อยู่ข้างเคียง ที่จะใช้วิธีการหาขอบเขตของเซลล์ด้วยวิธีเดียวกัน โดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของสถานีฐาน และส่วนข้อมูลของพื้นที่ก็จะมีค่าที่เปลี่ยนไป ตามตำแหน่งที่ตั้งของสถานีฐาน หลังจากผ่านกระบวนการของการหาขอบเขตของเซลล์แล้วก็จะทำให้ทราบขอบเขตของเซลล์ที่ออกแบบขึ้นมากับเซลล์ข้างเคียงที่มีอยู่เดิม เพื่อพิจารณาถึงการเชื่อมโยงพื้นที่ของเซลล์ใหม่ กับเซลล์ข้างเคียงเดิมว่าสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้สมบูรณ์หรือไม่ ไม่เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์ที่จะทำให้พื้นที่บริเวณนั้นไม่สามารถใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ หรือเกิดการเหลื่อมล้ำเข้าไปในเซลล์ข้างเคียงมากเกินไปที่จะทำให้เกิดปัญหาการรบกวนของของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจะต้องมาพิจารณาตรวจสอบค่าอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่เกิดขึ้นกับเซลล์ที่ใช้ความถี่เดียวกัน ๆ โดยจะพิจารณาเทียบกับระดับสัญญาณแคเรียส โดย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

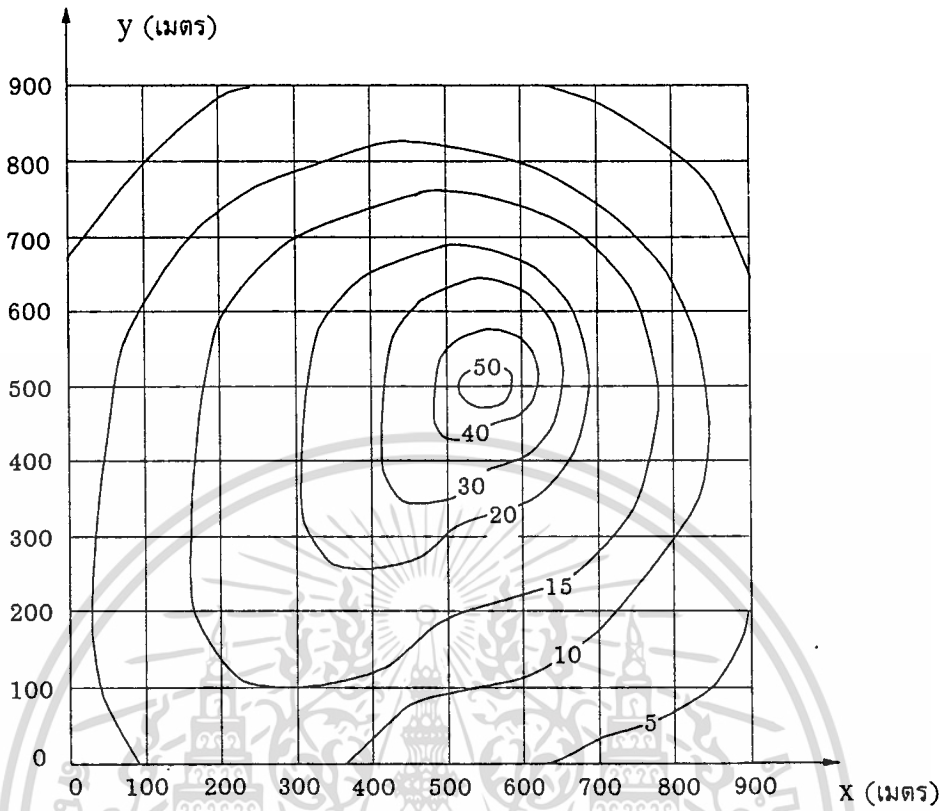


รูปที่ 4.11 โครงสร้างของโปรแกรมการออกแบบเซลล์

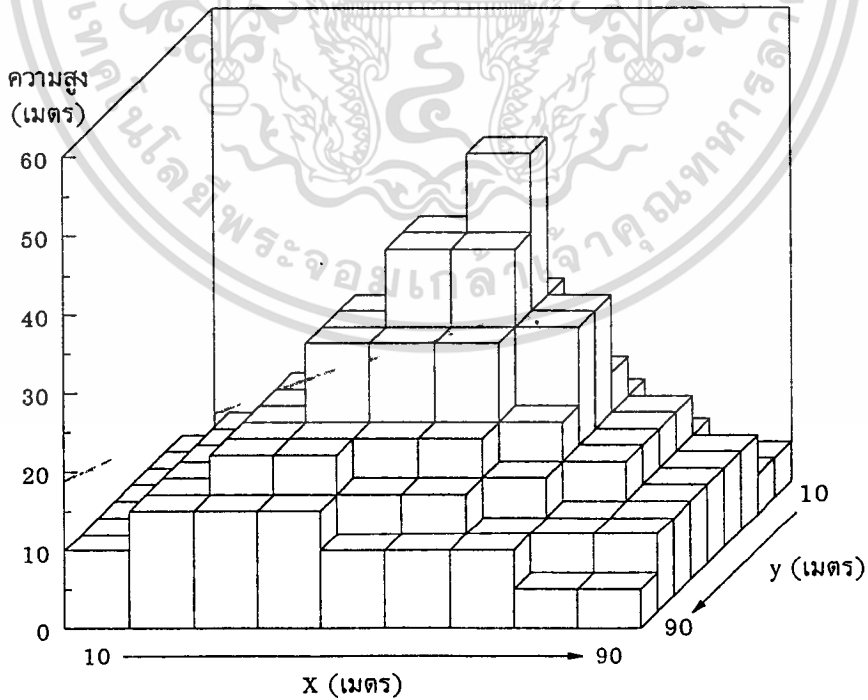


รูปที่ 4.12 การจัดเก็บข้อมูลของพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

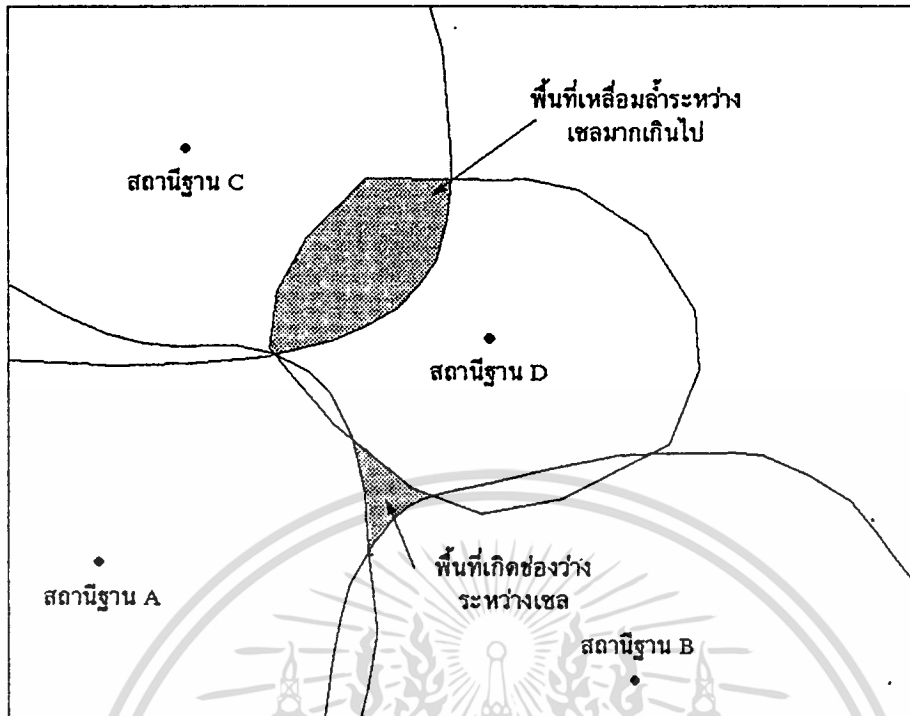


ก) แผนที่แสดงความสูงของพื้นที่



ข) การจัดเก็บข้อมูลความสูงของพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในอาคารเรียนของหน่วยงานนี้ ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.13 แสดงการจัดเก็บข้อมูลความสูงเฉลี่ยเชิงพื้นที่
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 การพิจารณาขอบเขตของเซลใหม่กับเซลข้างเคียง

ตามมาตรฐานของ FCC แล้วจะอนุญาตให้มีค่า $C/I \geq 18$ dB ซึ่งการหาค่า C/I จะสามารถหาได้จากที่สมการที่ 2.12 ซึ่งถ้ามีการตรวจสอบโดยโปรแกรมแล้วค่าของ C/I มีค่าน้อยกว่า 18 dB แสดงว่าเซลที่ออกแบบไม่สามารถใช้งานได้

ส่วนโปรแกรมการพิมพ์ จะเป็นส่วนที่จัดการเกี่ยวกับการพิมพ์ภาพออกทางเครื่องพิมพ์ ลงบนแผนที่ทางภูมิศาสตร์ โดยจำเป็นจะต้องมีส่วนที่ทำหน้าที่ในการปรับสเกลให้ขนาดตรงกับแผนจริง เพื่อให้การพิมพ์ขอบเขตของเซลได้ถูกต้อง ซึ่งทำให้การออกแบบเซลบนพื้นที่ต่าง ๆ มีความสะดวกยิ่งขึ้น

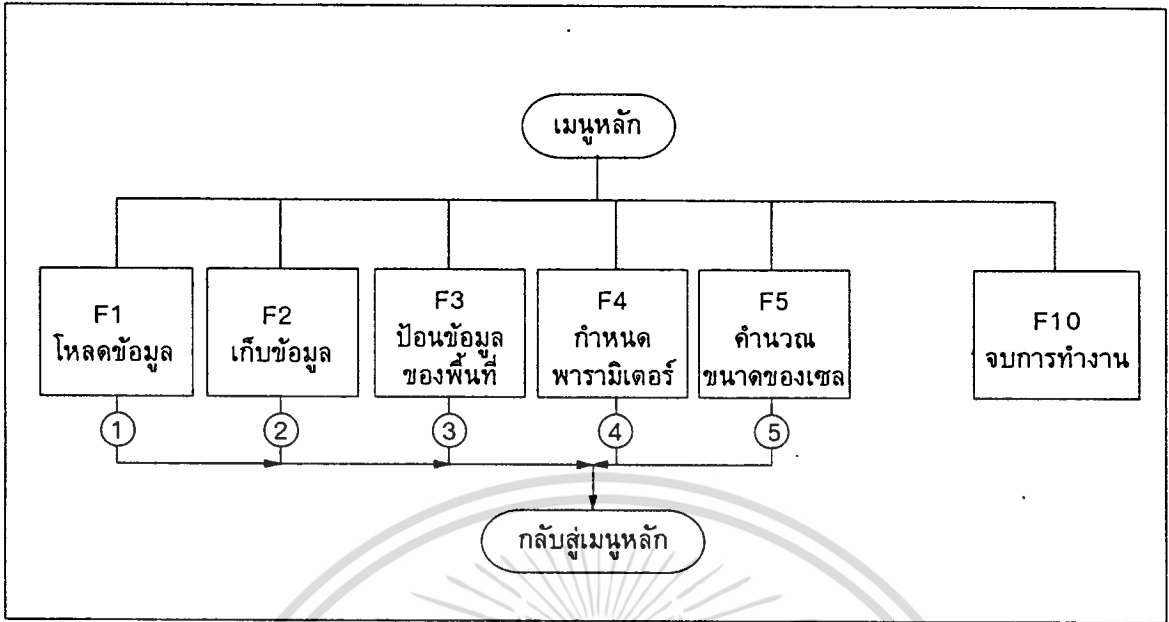
4.2.2 โครงสร้างของโปรแกรมการออกแบบเซล

ในการสร้างโปรแกรมการออกแบบเซลและเลือกตำแหน่งของเซลของโทรศัพท์เคลื่อนที่ จากลักษณะโครงสร้างหลักดังในรูปที่ 4.11 จะประกอบด้วยโปรแกรมย่อย 3 ส่วนด้วยกันคือ

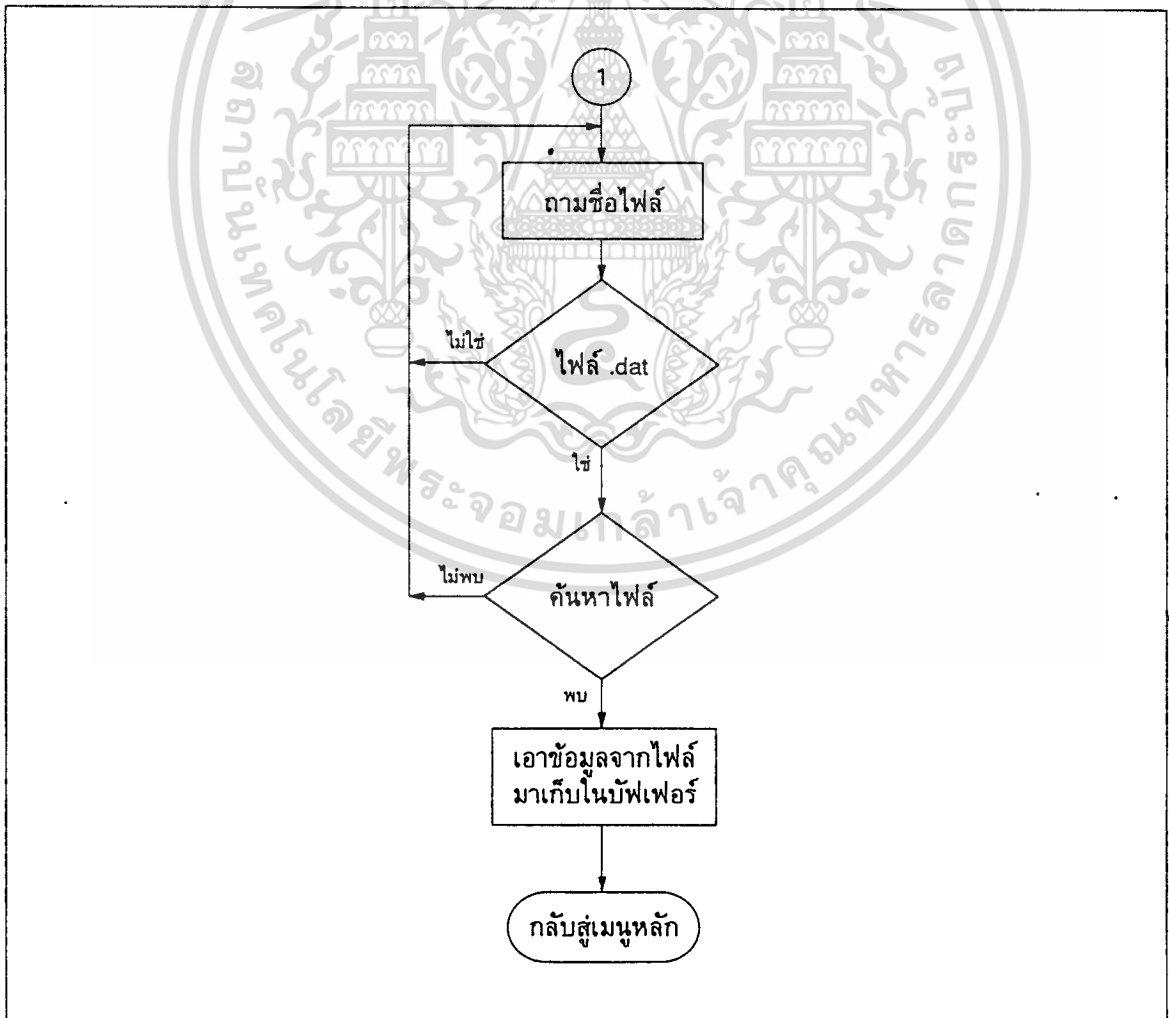
- ส่วนโปรแกรมการโหลดและเก็บข้อมูลพื้นที่
- ส่วนโปรแกรมการหาขอบเขตของเซล
- ส่วนโปรแกรมการพิมพ์

ส่วนโครงสร้างของโปรแกรมต่าง ๆ เหล่านี้จะมีลักษณะดังในรูปที่ 4.15 ถึง รูปที่ 4.20 ส่วนรายละเอียดของโปรแกรมทั้งหมดจะอยู่ในภาคผนวกที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

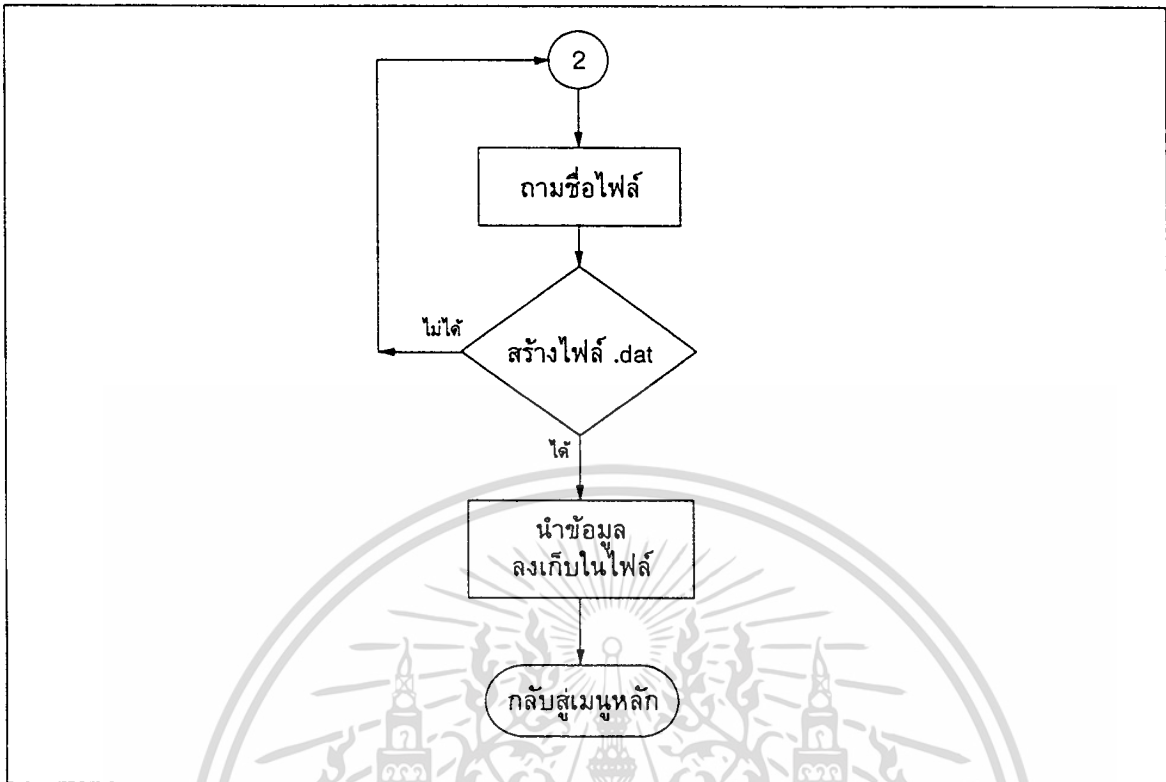


รูปที่ 4.15 แสดงโครงสร้างของโปรแกรม

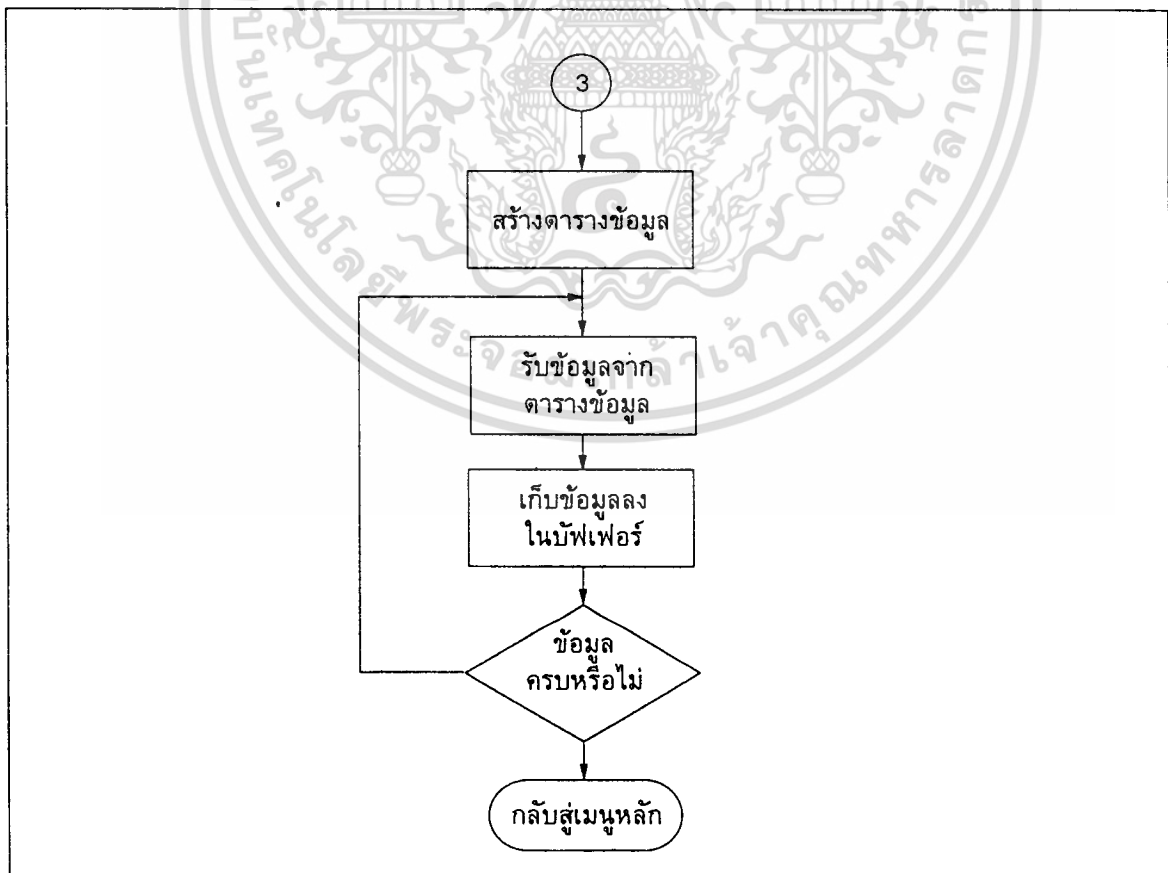


รูปที่ 4.16 แสดงแผนผังการทำงานของการทำงานโหลดข้อมูลจากไฟล์

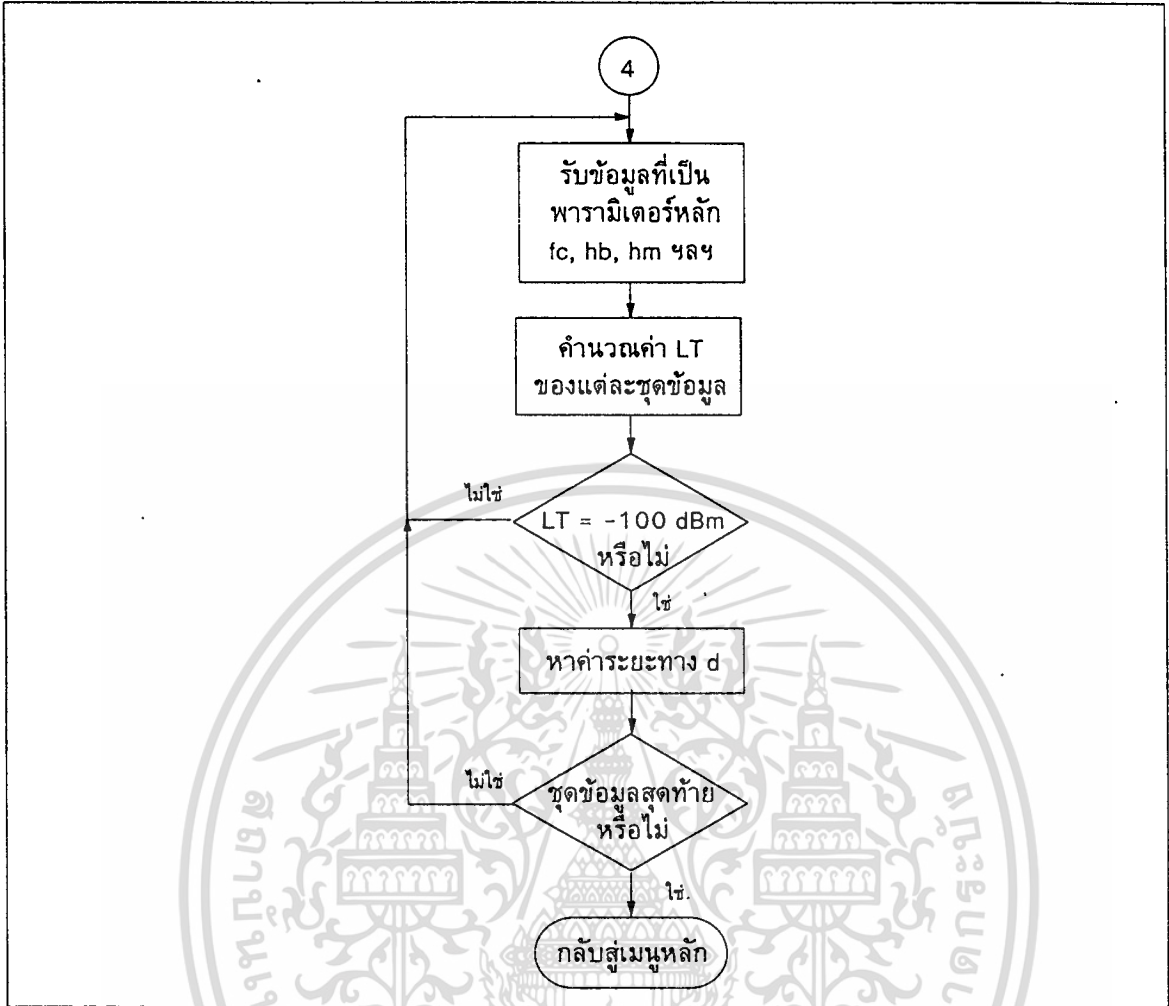
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการเชิงพาณิชย์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



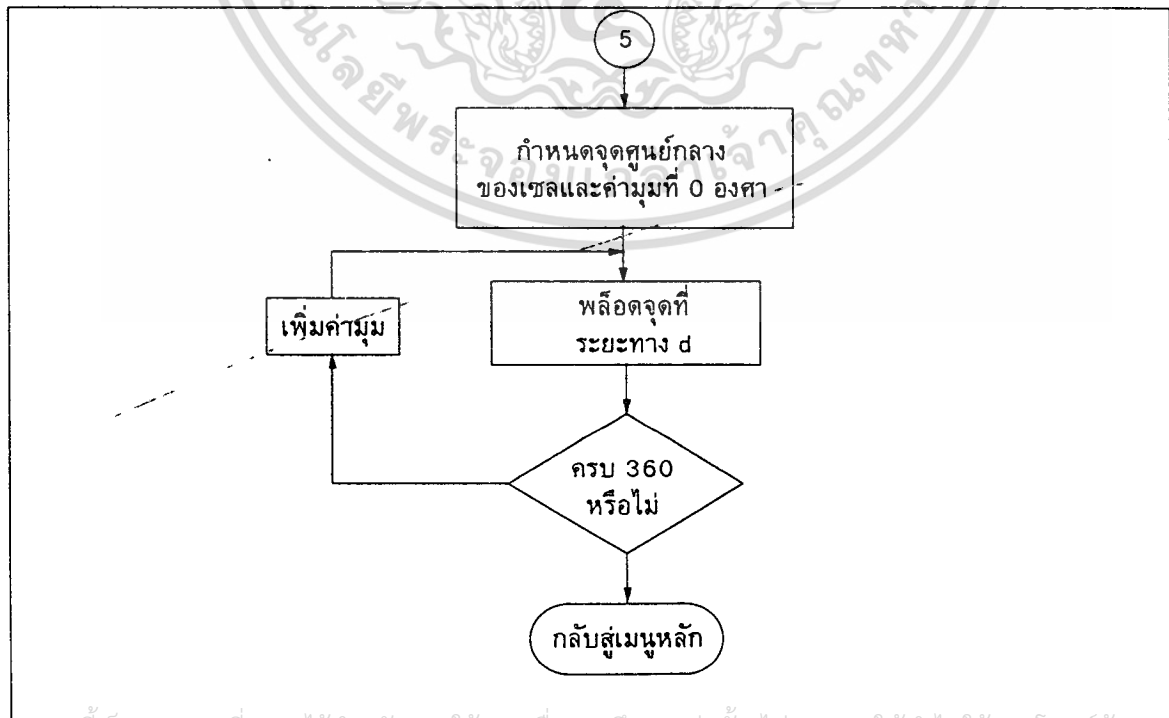
รูปที่ 4.17 แสดงแผนผังในการทำงานเพื่อเก็บข้อมูลลงในไฟล์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้ก่อนการนำไปใช้จริง การแก้ไขหรือการนำเอกสารไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมในการคำนวณหาขอบเขตของเซลล์



รูปที่ 4.20 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรมในการพล็อตเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองออกแบบเซลล์ในพื้นที่ต่าง ๆ

จากวิธีการออกแบบและเลือกตำแหน่งของเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ที่ได้กล่าวถึงในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ที่สามารถจะใช้ในการออกแบบได้ในทุกพื้นที่ ซึ่งในประเทศไทยก็มีการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่กันแพร่หลายทั่วประเทศ โดยในบางพื้นที่บางจังหวัดลักษณะสภาพแวดล้อมของพื้นที่จะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ดังนั้นจึงได้มีการทดสอบการออกแบบเซลล์ขึ้นในพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทย ดังนี้

4.3.1 การออกแบบเซลล์ในพื้นที่โล่ง

ในการออกแบบเซลล์ในเขตพื้นที่โล่ง จะสมมุติว่าได้มีการติดตั้งสถานีฐานที่ ที่ทำการไปรษณีย์เขตลาดกระบัง ซึ่งเขตพื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นท้องทุ่งนา และลักษณะพื้นที่เป็นพื้นที่ราบเรียบ ไม่มีเนินเขาสูง ซึ่งก็จะทำให้ค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากสิ่งก่อสร้างจะเกิดขึ้นน้อยมาก เนื่องจากการหักเหของคลื่น (L_D) มีค่าใกล้เคียงศูนย์ ส่วนค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากสิ่งก่อสร้างจะเกิดขึ้นน้อยมากเนื่องจากตึกก่อสร้างสูง ๆ อยู่ไม่มากนัก จากการสำรวจข้อมูลความสูงของพื้นดินและค่าความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้างในรัศมี 10 กิโลเมตรจะได้ดังรูปที่ 4.21

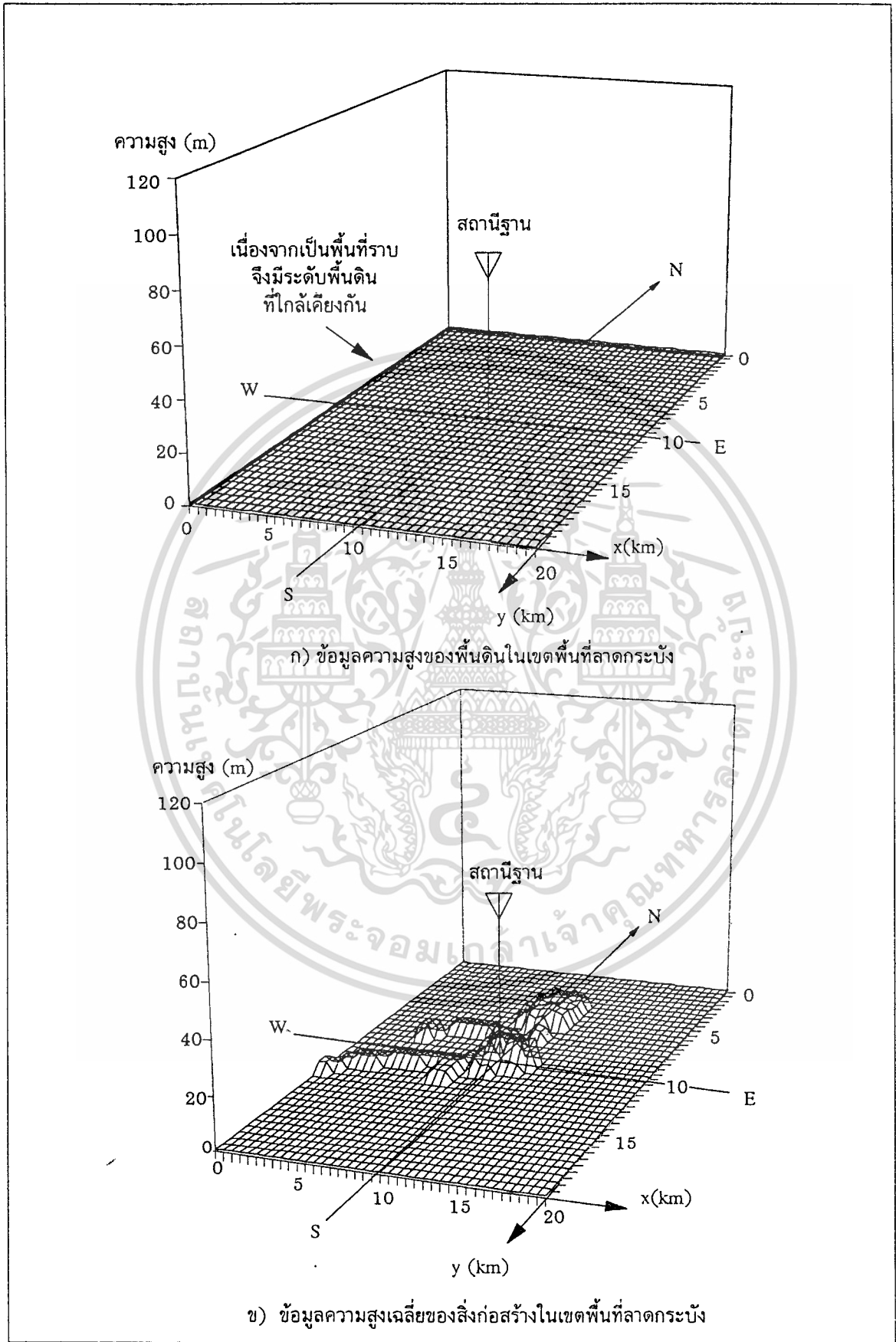
ถ้าสมมุติว่าออกแบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ AMPS ดังนั้นค่าความถี่จะอยู่ในช่วง 825-890 MHz ($f_c = 850 \text{ MHz}$) ค่าความสูงของสายอากาศที่เครื่องโทรศัพท์ (h_m) = 1.5 เมตร เกนของสายอากาศเป็น 0 dB ($G_r = 1$) เกนของสายอากาศที่สถานีฐานจะมีค่าเท่ากับ 6 dB ($G_s = 3.98$) และมีปริมาณทราฟฟิกประมาณ 30 เออแลงค์

เมื่อป้อนข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในโปรแกรมการออกแบบเซลล์แล้ว โปรแกรมก็จะคำนวณหาขอบเขตของเซลล์ และสามารถพิมพ์ลงแผนที่จริงได้ดังในรูปที่ 4.22 เมื่อพิจารณาจากขอบเขตของเซลล์ที่ได้แล้ว ก็จะใช้วิธีเดียวกันในการหาขอบเขตของเซลล์ข้างเคียง ซึ่งจะได้ดังในรูปที่ 4.23 ที่จะมีขอบเขตของเซลล์จากมินบุรี และหัวหมาก เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าขอบเขตของเซลล์ที่ลาดกระบังจะสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ต่อเนื่องกับเซลล์ข้างเคียงทั้ง 2 เซลล์ และค่าของ C/I ก็มีค่าเท่ากับ 19.3 dB ซึ่งมากกว่า 18 dB จึงถือว่าการเกิดอินเตอร์เฟียร์ที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4.3.2 การออกแบบเซลล์ในเขตพื้นที่ตัวเมือง

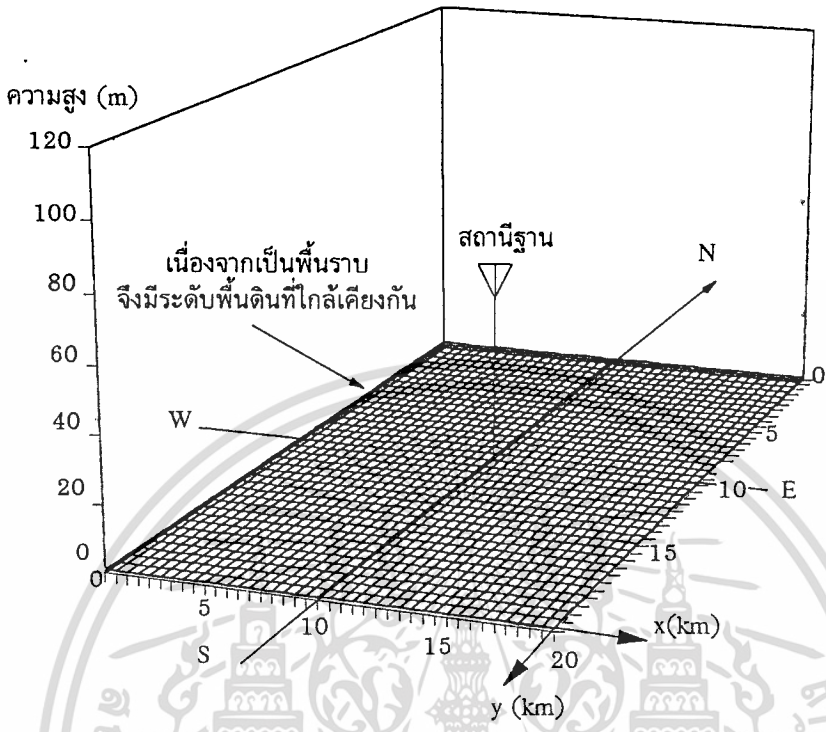
ในการออกแบบเซลล์ในเขตพื้นที่ตัวเมือง โดยสมมุติว่าจะทำการออกแบบเซลล์ในบริเวณเขตพระโขนง โดยมีการติดตั้งสถานีฐานที่ ที่ทำการไปรษณีย์โทรเลขพระโขนง ซึ่งในเขตพื้นที่บริเวณพื้นที่ส่วนใหญ่จะมีตึกสูง ๆ อยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากเป็นเขตพื้นที่ธุรกิจ ดังนั้นค่าการลดทอนเนื่องจากสิ่งก่อสร้างจึงมีผลกระทบที่สูงมาก พื้นที่เขตพระโขนงเป็นลักษณะที่พื้นราบเรียบไม่มีเนินเขาสูง ซึ่งก็จะทำให้ค่าการลดทอนของสัญญาณเนื่องจากการหักเหของคลื่น (L_D) มีค่าใกล้เคียงศูนย์ และจากการสำรวจข้อมูลความสูงของพื้นดินและค่าความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้างในรัศมี 10 กิโลเมตร จะได้ค่าดังในรูปที่ 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

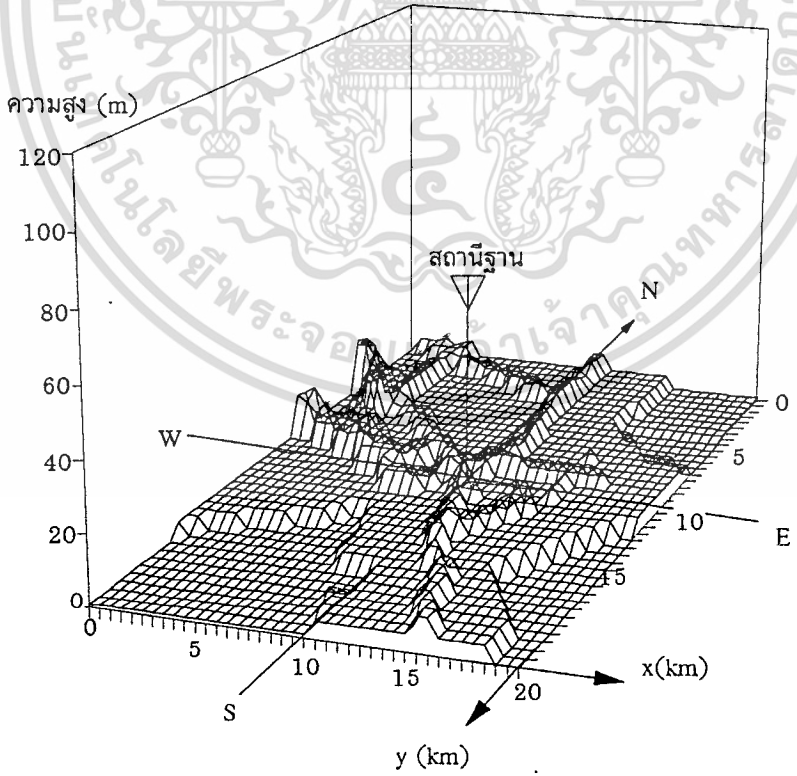


รูปที่ 4.21 แสดงข้อมูลความสูงของพื้นที่ และความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้างในเขตพื้นที่ลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

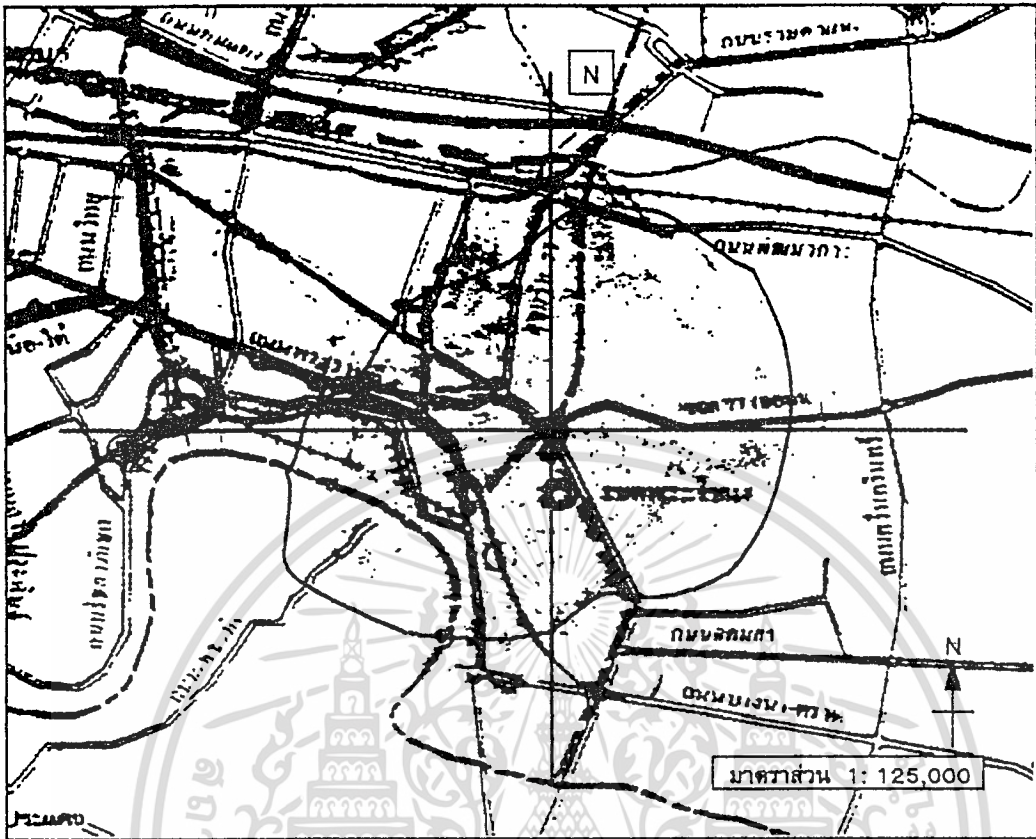


ก) ข้อมูลความสูงของพื้นดินในเขตพื้นที่พระโขนง

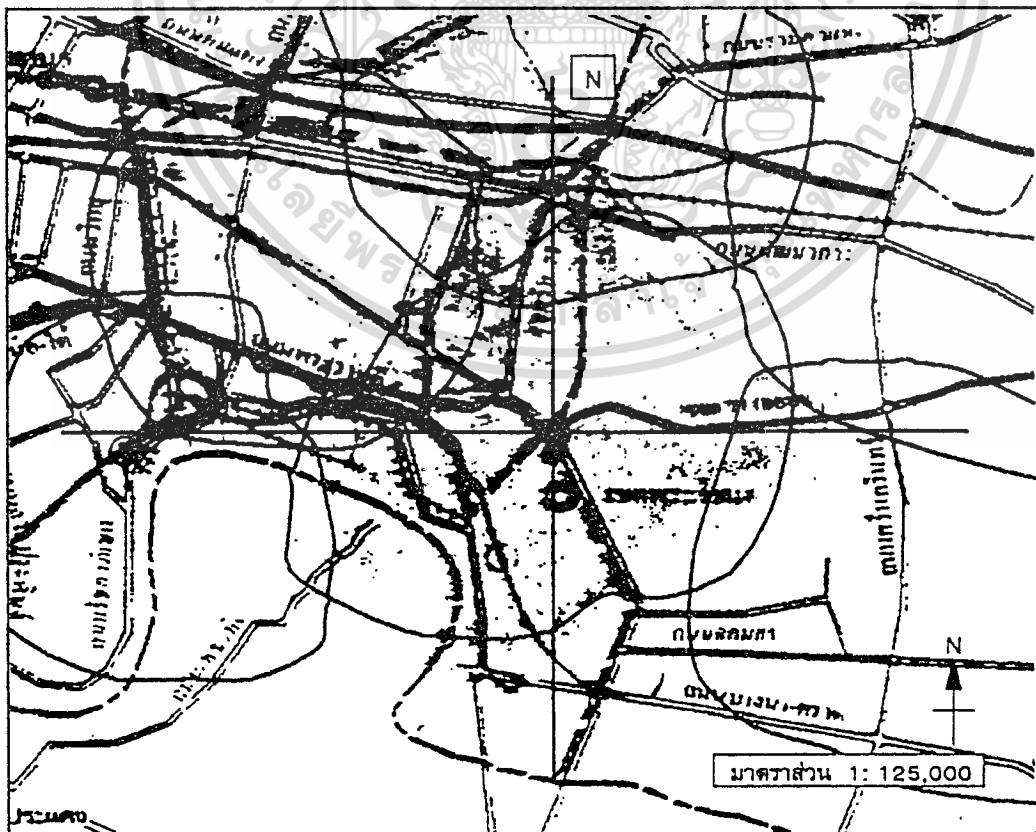


ข) ข้อมูลความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้างในเขตพื้นที่พระโขนง

รูปที่ 4.24 แสดงข้อมูลความสูงของพื้นที่ และความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้างในเขตพื้นที่พระโขนง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 แสดงขอบเขตของเซลในเขตพื้นที่พระโขนง



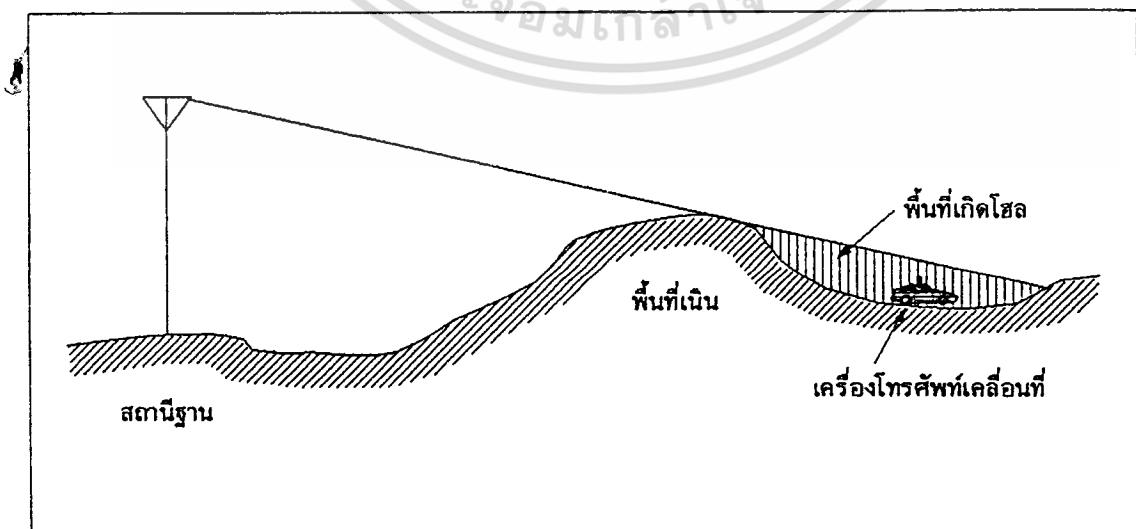
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.26 แสดงขอบเขตของเซลในเขตพื้นที่พระโขนง นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อพิจารณาพร้อมกับเซลข้างเคียง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าสมมติว่าเป็นการออกแบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ AMPS 800 ค่าความถี่ที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ที่ 850 MHz ค่าปริมาณทราฟฟิกในเขตพื้นที่พระโขนงมีค่าประมาณเท่ากับ 55 เออแลงค์ และพารามิเตอร์ต่างๆ จะมีค่าดังนี้ ค่าความสูงของสายอากาศที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (h_m) = 1.5 เมตร มีค่าเกนของสายอากาศ (G_r) = 0 dB และให้เกนของสายอากาศของสถานีฐานมีค่าเท่ากับ 6 dB ($G_t = 3.95$)

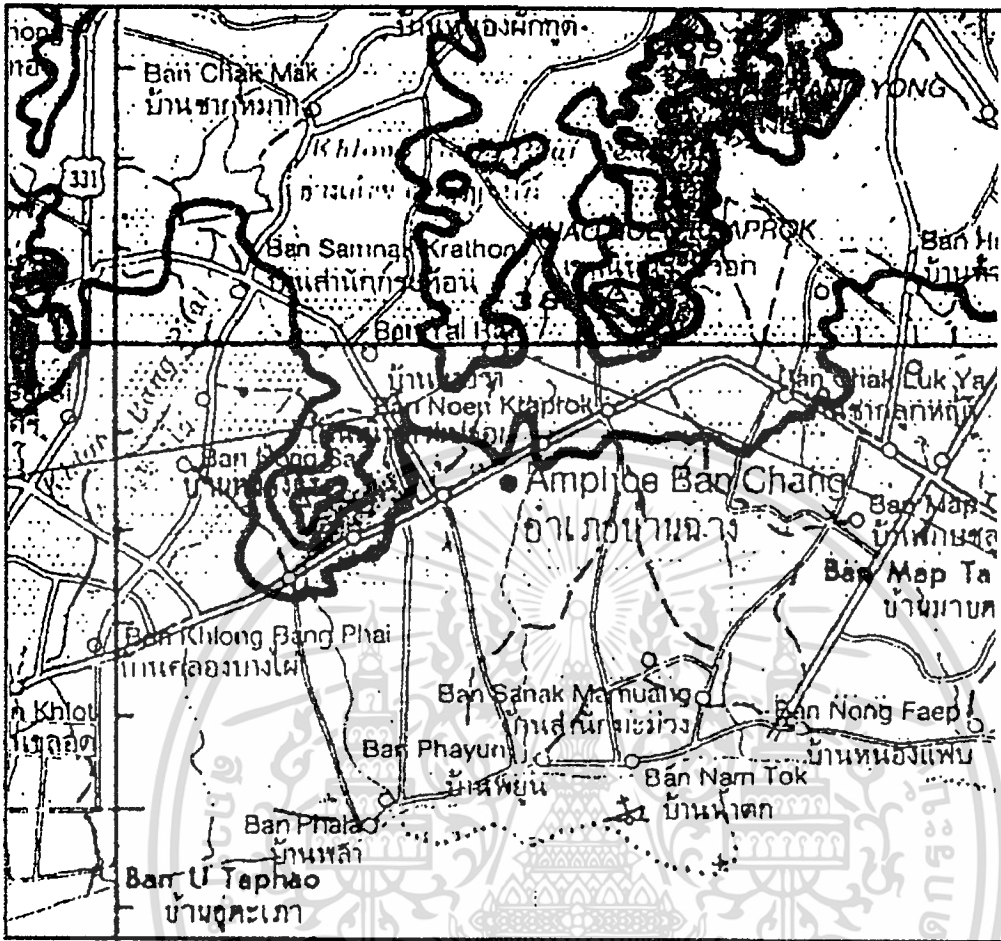
เมื่อป้อนข้อมูลของพารามิเตอร์ต่างๆ ลงในโปรแกรมการออกแบบเซลล์แล้ว โปรแกรมจะมีค่าความสูงของสายอากาศที่สถานีฐาน แล้วจึงคำนวณหาขอบเขตของเซลล์ บนหน้าจอกอมพิวเตอร์ และสามารถพิมพ์ลงแผนที่จริงได้ดังในรูปที่ 4.25 เมื่อทราบขอบเขตของเซลล์ที่ได้ออกแบบแล้ว จะต้องนำไปพิจารณาร่วมกับเซลล์ที่อยู่ข้างเคียง โดยการหาขอบเขตของเซลล์ที่อยู่ข้างเคียงจะใช้วิธีเดียวกัน จะได้ดังรูปที่ 4.26 ซึ่งจะมีขอบเขตของเซลล์ที่ทำการโปรขณีย์โทรเลขหัวหมาก ห้วยขวาง และ ลุมพินี เมื่อพิจารณาในส่วนของการเชื่อมต่อของแต่ละเซลล์ จะเห็นว่าการเชื่อมโยงสามารถครอบคลุมได้ดี ยกเว้นตรงจุดตามเส้นทางถนนสุขุมวิทที่จะทำให้ค่าการลดทอนของสัญญาณมีค่าน้อย เนื่องจากไม่มีสิ่งก่อสร้างกีดขวางทางเดินของคลื่นพอดี ในจุดนี้จึงอาจจะทำให้เกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่สูงขึ้นได้ และค่าของ C/I จะมีค่าเท่ากับ 18.6 dB ซึ่งมากกว่า 18 dB จึงถือว่าค่าการเกิดการอินเตอร์เฟอเรนซ์ที่อยู่ในเกณฑ์ที่รับได้

4.3.3 การออกแบบเซลล์ในเขตพื้นที่เป็นเนิน

ในบางพื้นที่ของประเทศไทยจะมีพื้นที่เป็นลักษณะเนินเขา เช่น เขตบริเวณชายฝั่งทะเลทางภาคตะวันออก เขตจังหวัดภูเก็ต เป็นต้น ซึ่งพื้นที่เหล่านี้อาจจะเกิดพื้นที่โฮลขึ้นภายในเซลล์สูงมาก เนื่องจากมีบางพื้นที่เมื่อเครื่องโทรศัพท์เข้าไปอยู่ในเขตพื้นที่นี้ จะทำให้เนินเขาเกิดบังเส้นทางเดินของคลื่นระหว่างสถานีฐานกับเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้นได้ ดังในรูปที่ 4.27 ดังนั้นในการออกแบบเซลล์ในพื้นที่เป็นเนิน เพื่อครอบคลุมพื้นที่ในเขต อำเภอบ้านฉาง จังหวัดชลบุรี ซึ่งมีพื้นที่บาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 4.27 แสดงการเกิดขวางทางเดินคลื่นเนื่องจากพื้นที่เนิน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกพิมพ์นี้มีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



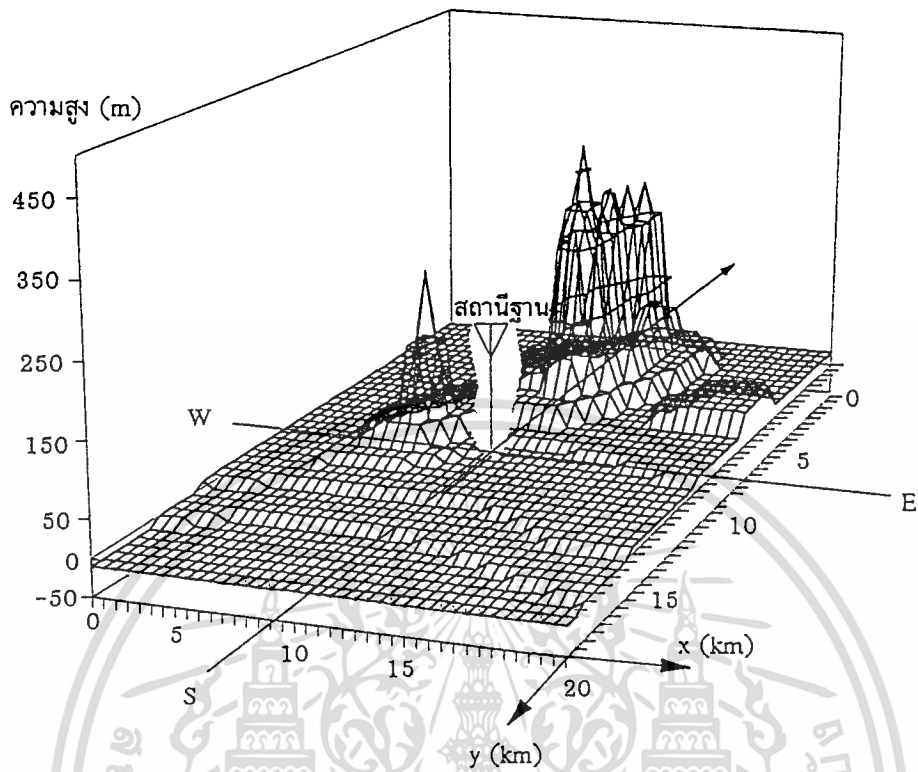
รูปที่ 4.28 แสดงแผนที่ระดับความสูงของพื้นที่ในเขต อ.บ้านฉาง จ. ชลบุรี

ส่วนนี้เป็นลักษณะเนินสูงอยู่ โดยที่พื้นที่ทางทิศใต้จะเป็นด้านของอ่าวไทย ทางทิศตะวันออกจะเป็นด้านของจังหวัดระยอง และทิศตะวันตกจะเป็นด้านของอำเภอสัตหีบ ส่วนทางด้านทิศเหนือและตะวันตกจะมีพื้นที่เป็นเนินสูง ส่วนสิ่งก่อสร้างสูงจะมีจำนวนไม่มากนัก ส่วนใหญ่เป็นบ้านพักอาศัย เมื่อทำการสำรวจข้อมูลความสูงของพื้นดินและค่าความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้างในรัศมี 10 กิโลเมตร จะได้ข้อมูลดังในรูปที่ 4.28 และ รูปที่ 4.29

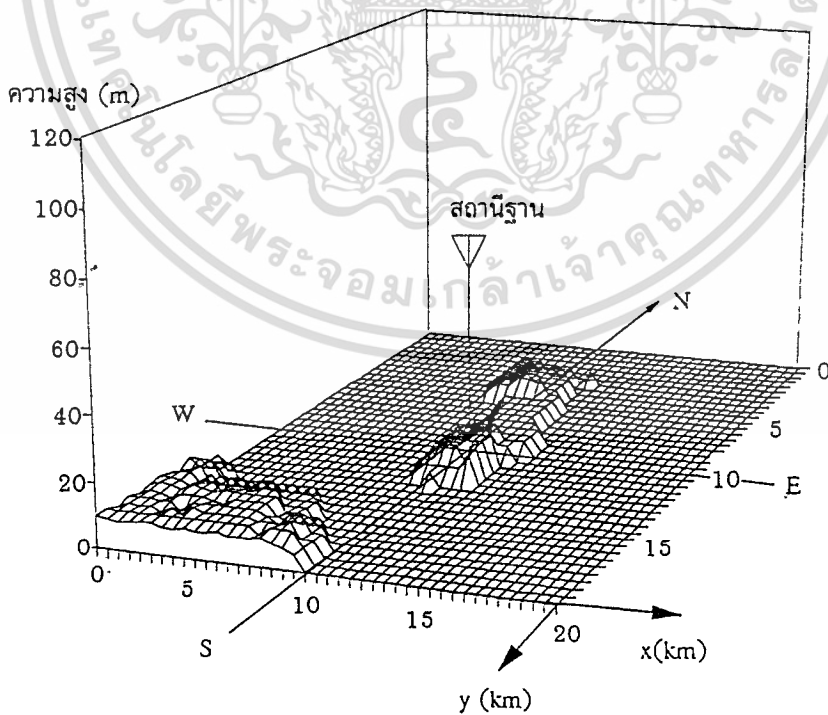
ถ้าสมมติว่าเป็นการออกแบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบ AMPS 800 ค่าความถี่ที่ใช้ในการคำนวณจะใช้ที่ 850 MHz ซึ่งเป็นค่าความถี่กลางของย่านความถี่ในระบบ AMPS 800 ค่าปริมาณของทราฟฟิกในเขตพื้นที่ อำเภอบ้านฉาง จะมีค่าประมาณ 20 เออแลงค์ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะมีค่าดังนี้ ค่าความสูงของสายอากาศที่เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ (h_m) = 1.5 เมตร มีค่าเกนของสายอากาศ (G_r) = 0 dB และให้เกนของสายอากาศที่สถานีฐานมีค่า (G_s) = 6 dB

หลังจากนำข้อมูลของพื้นที่ และพารามิเตอร์ต่างๆ ลงในโปรแกรมการออกแบบเซลล์แล้ว โปรแกรมจะคำนวณออกแบบ ความสูงของสายอากาศที่สถานีฐาน แล้วจึงคำนวณหาขอบเขตของเซลล์และแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะพิมพ์ลงบนแผนที่จริงดังในรูปที่ 4.30 จากในรูปเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



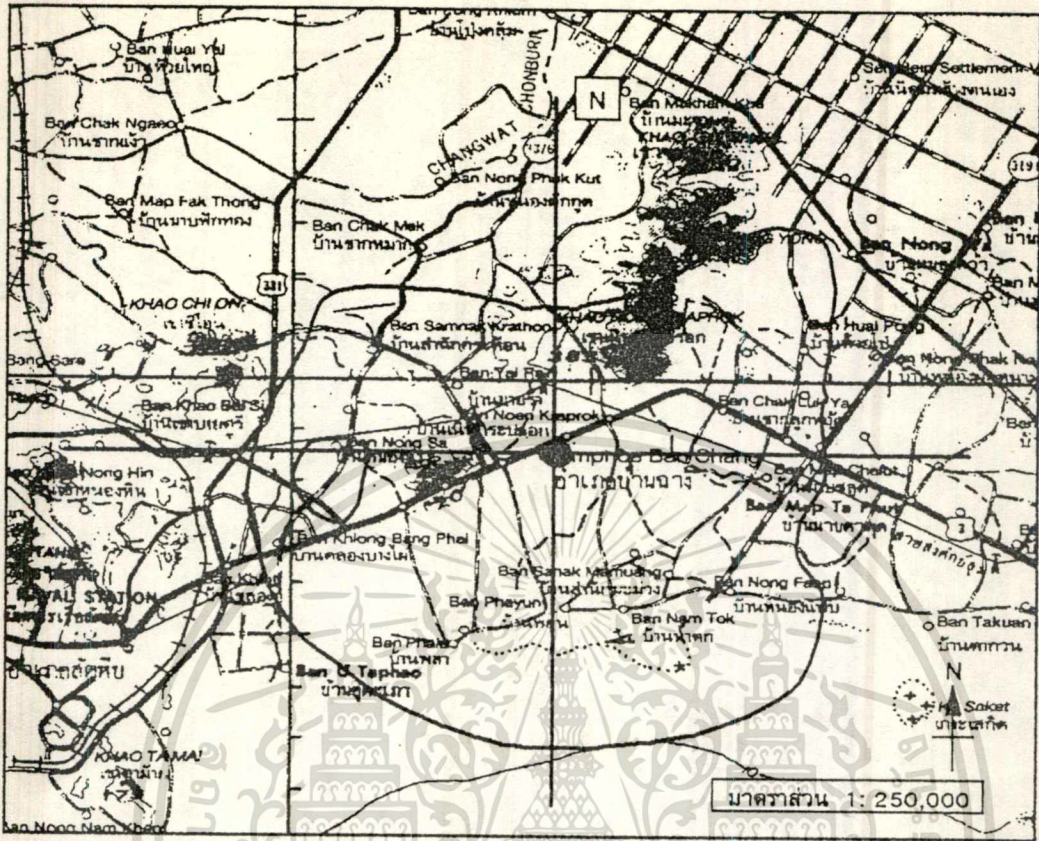
ก) ข้อมูลความสูงของพื้นดินในเขตพื้นที่ อ. บ้านฉาง จ.ชลบุรี



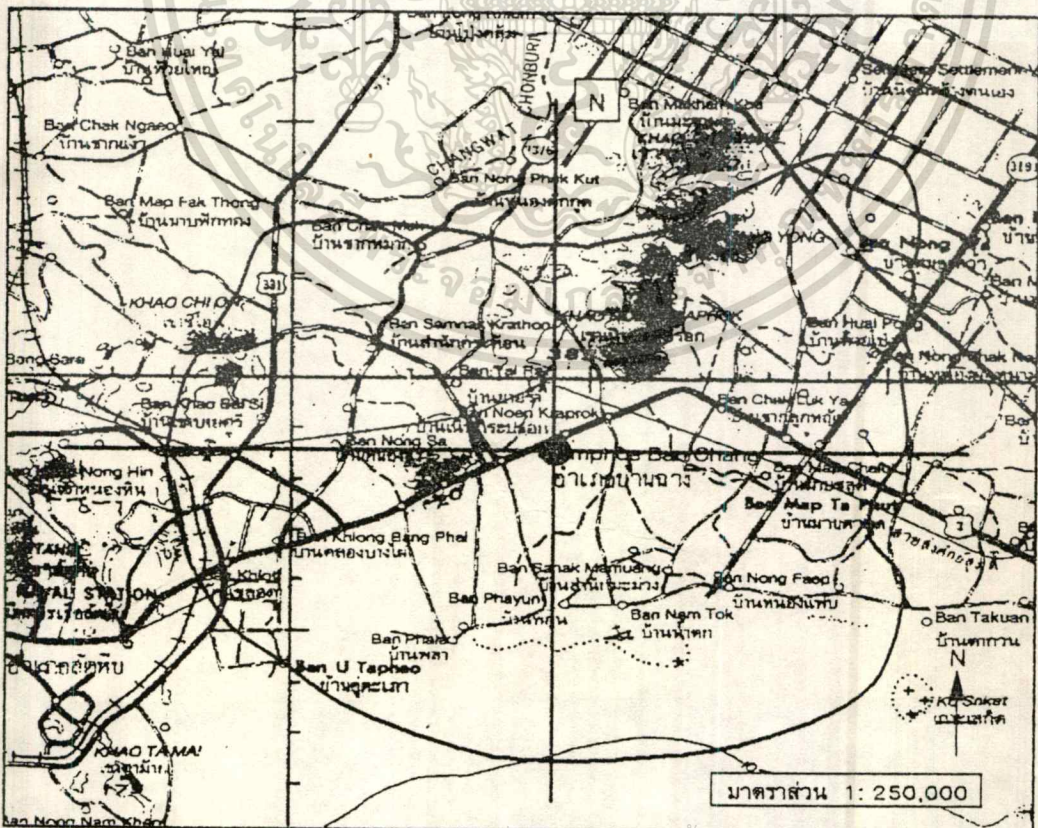
ข) ข้อมูลความสูงของสิ่งก่อสร้างในเขตพื้นที่ อ. บ้านฉาง จ.ชลบุรี

รูปที่ 4.29 แสดงข้อมูลความสูงของพื้นที่ และความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้าง ในเขตพื้นที่ อ.บ้านฉาง จ.ชลบุรี

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 แสดงขอบเขตของเขตที่ เขตพื้นที่ อ. บ้านฉาง จ.ชลบุรี



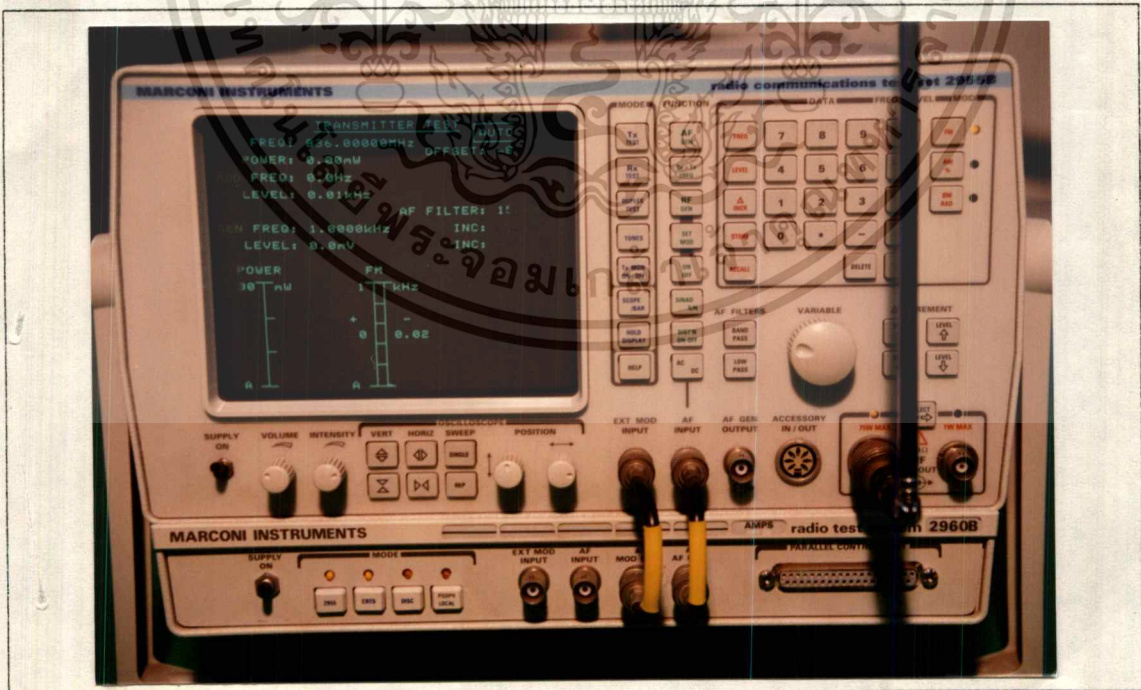
เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.31 แสดงขอบเขตของเขตที่ อ. บ้านฉาง จ. ชลบุรี ให้นำไปใช้ประโยชน์ตามสมควร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งเมื่อเพิ่มความสูงของสายอากาศที่สถานีฐานของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงว่า ผลจากพื้นที่เนินทำให้เกิดพื้นที่โฮลขึ้นภายในเซลล์ ดังนั้นเซลล์ที่ได้จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้ จึงต้องกลับไปปรับค่าพารามิเตอร์บางส่วน ซึ่งพารามิเตอร์ที่จะช่วยแก้ไขปัญหาก็คือการเพิ่มค่าความสูงของสายอากาศที่สถานีฐานเพิ่มขึ้น จากที่คำนวณตอนแรกจะได้ความสูงของสายอากาศที่ 50 เมตร จึงเพิ่มค่าความสูงให้มีค่าเป็น 75 เมตร จะทำให้ได้ขอบเขตของเซลล์ดังในรูปที่ 4.31 ซึ่งจะทำให้พื้นที่โฮลหายไป แต่ผลกระทบคือ จะทำให้ขนาดของเซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น อาจจะทำให้ค่าอินเตอร์เฟอเรนซ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่สามารถจะลดการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์ โดยวิธีการเอียงบีมของสายอากาศลง

เมื่อได้ขอบเขตของเซลล์ อำเภอบ้านฉาง จังหวัดชลบุรี แล้วจะต้องนำไปพิจารณาร่วมกับเซลล์ข้างเคียงที่ใช้วิธีการเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.32 ซึ่งจะมีขอบเขตของเซลล์จากสถานีฐานที่สี่หีบ และสถานีฐานที่โปรษณีย์โทรเลข จังหวัดระยอง ซึ่งจะมีเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงเพียง 2 เซลล์เท่านั้น ค่าของการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์จึงมีขึ้นน้อยมาก คือ C/I จะมีค่าเป็น 20.6 dB ซึ่งสามารถจะนำไปใช้งานได้

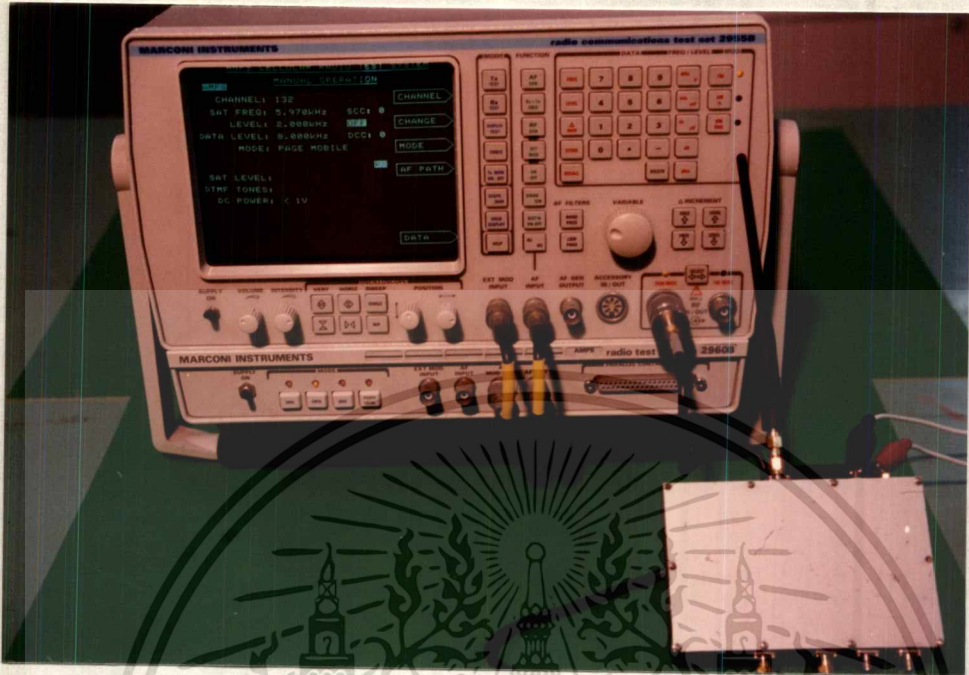
4.4 การจำลองสร้างสถานีฐาน

จากการออกแบบเซลล์และตำแหน่งของเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูล่าของวิทยานิพนธ์นี้ จึงได้มีการจำลองสร้างสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้นมา โดยใช้ระบบ AMPS 800 เพื่อจะทำการวิเคราะห์ผลของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่ได้รับในจุดต่างๆรอบสถานีฐาน

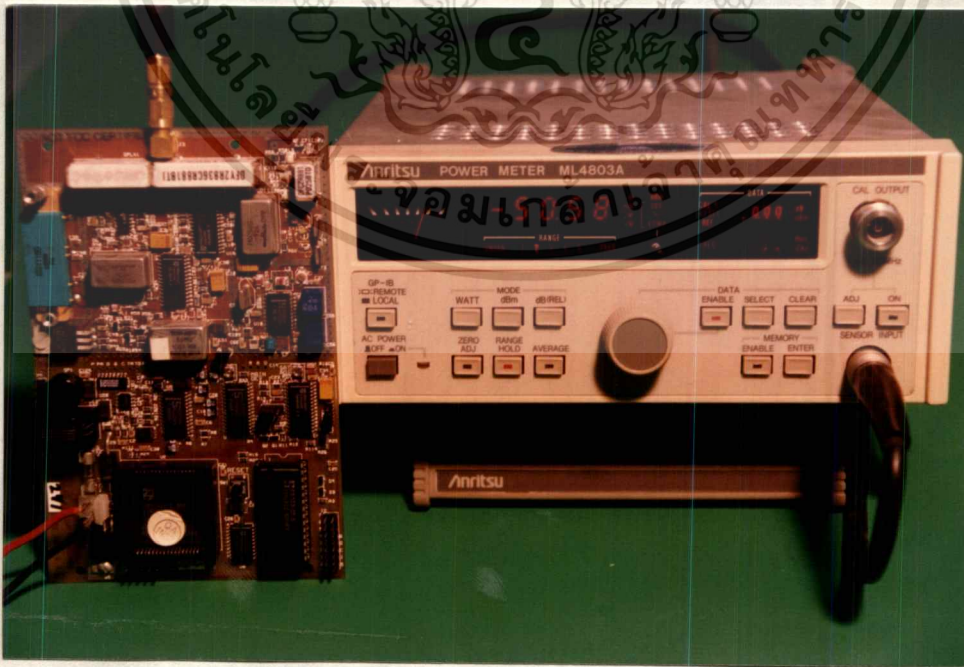


รูปที่ 3.32 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการจำลองสร้างสถานีฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 แสดงอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการจำลองสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่



รูปที่ 4.34 แสดงเครื่องรับสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนองสวกรงการใชงานเพอองการศกษาทงานองน ไมองอนุญาตใหงนไปใชงประโชยณดงนการค้
ไมว่การณใดทงส้ณ อีกรทงท้วมมีใหงดัดแปลงเนองหา และดองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทงคร้ังที่มีกรน้าไปใชง

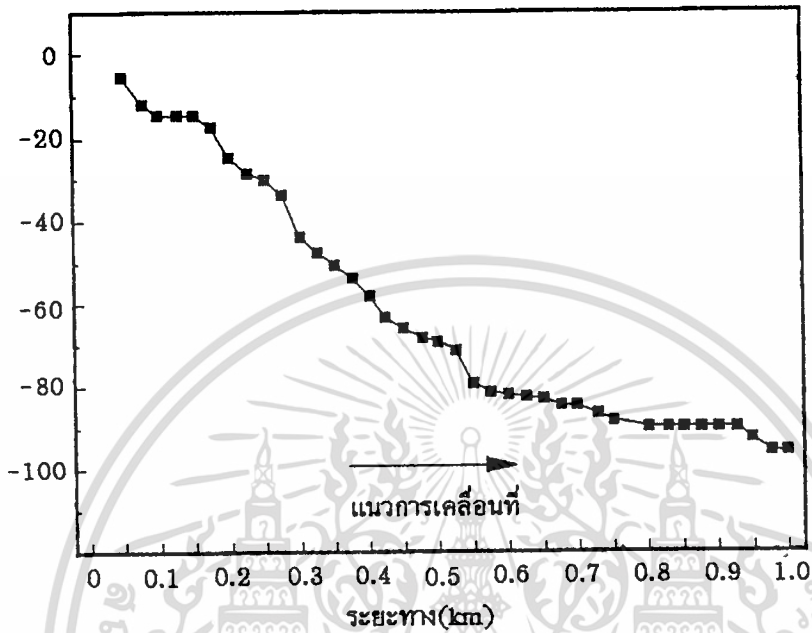
จะทำให้สามารถทราบขอบเขตเซลล์จากสถานีฐานที่จำลองขึ้นได้ ซึ่งพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของสถานีฐานที่สร้างขึ้นนี้ จะได้จากวิธีการออกแบบเซลล์ที่กล่าวไว้ในวิทยานิพนธ์นี้

การจำลองสถานีฐานนี้ ได้ทำการออกแบบสร้างเซลล์ในเขตพื้นที่ลาดกระบัง โดยทำการติดตั้งสถานีฐานที่บริเวณตลาดฟ้าของตึกโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การจำลองสถานีฐานจะใช้เครื่องมือวัด Radio Communications Test Set (2955B) และ Radio Test Systems for AMPS (2960) ของ MARCONI INSTRUMENTS ซึ่งสามารถจะจำลองการทำงานของสถานีฐาน ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลล์ลู่วิ่งได้ หรือจำลองการทำงานของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เช่นเดียวกัน ดังจะมีลักษณะดังในรูปที่ 4.32 และ 4.33

จากนั้นจึงทำการวัดสัญญาณที่ส่งมาจากสถานีฐานที่จำลองขึ้นจากเครื่อง Radio Test Set (MARCONI) โดยใช้ชุดรับสัญญาณของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.34 ซึ่งจากระดับสัญญาณที่ได้รับและระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ตั้งของเซลล์(สถานีฐาน) จะสามารถพล็อตออกมาได้ดังในรูปที่ 4.25

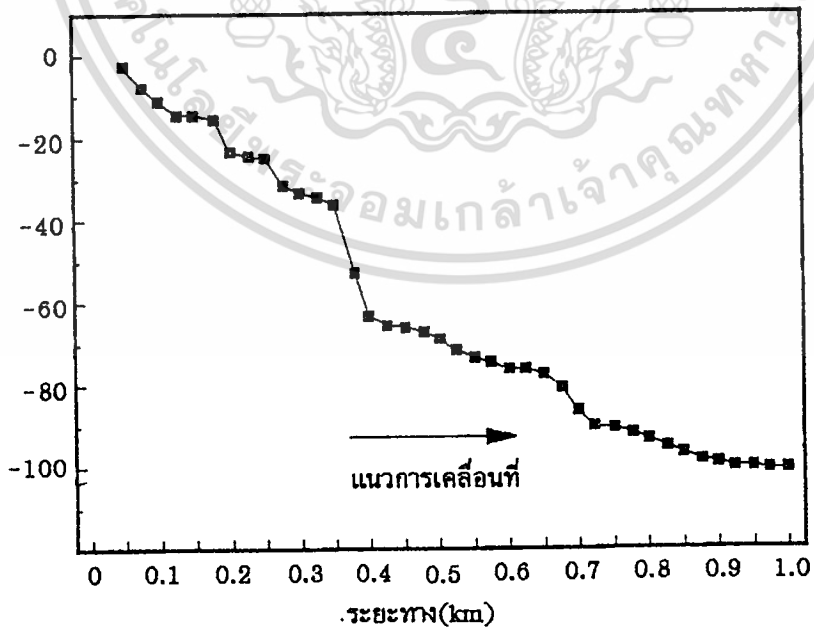
จากค่าระดับสัญญาณและระยะทาง จะทำให้เราสามารถนำมาเขียนเป็นขอบเขตการให้บริการของเซลล์ได้ดังในรูปที่ 4.36 ซึ่งค่าที่ได้อาจจะไม่ละเอียดมากนัก เนื่องจากในการวัดระดับสัญญาณ จะกระทำได้ในเฉพาะเส้นทางที่เป็นถนนเท่านั้นจึงอาจจะทำให้บางจุดไม่สามารถเข้าไปวัดสัญญาณได้

ระดับของสัญญาณ (dBm)



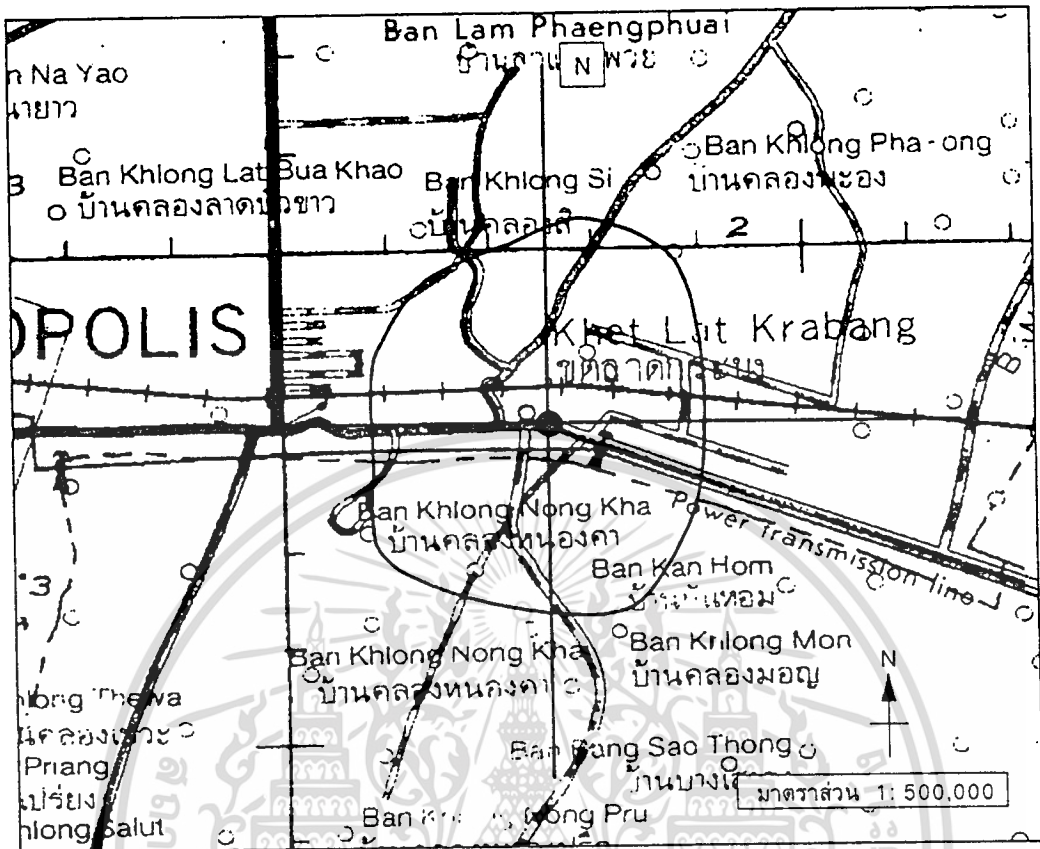
ก) แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ ในทิศตะวันออกของสถานีฐาน

ระดับของสัญญาณ (dBm)



ข) แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ ในทิศตะวันตกของสถานีฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 4.35 แสดงค่าระดับสัญญาณที่วัดได้ ในเขตพื้นที่ลาดกระบัง



รูปที่ 4.36 แสดงขอบเขตของเขตที่จำลองขึ้นที่ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบเซลล์และตำแหน่งของเซลล์ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะมีความเหมาะสมกับสภาพการณ์ในปัจจุบันอย่างมาก ดังจะเห็นได้จากการเจริญเติบโตของตลาด โทรศัพท์เคลื่อนที่ มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก จึงทำให้ปัญหาในเรื่องการใช้งานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ได้ อย่างเช่น ไม่สามารถโทรออกได้ หรือโทรเข้าได้ เนื่องมาจากช่องสัญญาณในบริเวณนั้นถูกใช้ เต็มหมดแล้ว เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงเซลล์และตำแหน่งของเซลล์เดิมให้สามารถรองรับ ปริมาณของทราฟฟิคที่เพิ่มขึ้นได้ โดยการใช้เทคนิคการแบ่งเซลล์ของเดิม ให้สามารถรองรับปริมาณ ของทราฟฟิคที่เพิ่มขึ้นได้ โดยการใช้เทคนิคการแบ่งเซลล์ให้ออกเป็นเซลล์ย่อยที่มีขนาดเล็กลง ดังเช่น ไมโครเซลล์(μ -cell) ซึ่งในปัจจุบันได้เริ่มมีการนำมาใช้งานในประเทศไทยแล้วบางพื้นที่ เช่น ที่ บริเวณสีลม แต่ครอบคลุมพื้นที่บริการจะครอบคลุมพื้นที่ได้เหมือนเดิม การออกแบบเซลล์และ ตำแหน่งของเซลล์ จึงสามารถที่จะช่วยในการปรับปรุงเซลล์และตำแหน่งของเซลล์เดิมก่อนที่จะมีการติดตั้งจริงได้

5.1 ผลจากการออกแบบเซลล์ในพื้นที่ต่าง ๆ

จากสภาพของพื้นที่ต่าง ๆ ของประเทศไทยมีสภาพแวดล้อมมีลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนั้น จึงได้มีการออกแบบเซลล์ในพื้นที่ต่าง ๆ กัน คือ ในพื้นที่เขตลาดกระบัง ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นทุ่งโล่ง และพื้นที่นา ในเขตพื้นที่พระโขนง ซึ่งเป็นลักษณะพื้นที่ราบ แต่ส่วนใหญ่จะมีสิ่งก่อสร้างสูง ๆ อยู่มาก และในเขตพื้นที่ อ.บ้านฉาง จ.ชลบุรี ที่อยู่ทางภาคตะวันออกของประเทศไทย ซึ่งพื้นที่นี้จะมีส่วนที่เป็นเนินเขาสูงอยู่ สภาพแวดล้อมของแต่ละพื้นที่ดังกล่าวข้างต้น จะสามารถครอบคลุมการใช้งานใน สภาพแวดล้อมที่มีอยู่ในประเทศไทยทั้งหมด

การออกแบบเซลล์ในแต่ละพื้นที่ จะมีผลกระทบทำให้ค่าการลดทอนของสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่ในทิศทางต่าง ๆ เกิดขึ้นแตกต่างกัน ซึ่งจะทำให้ขอบเขตของเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงไปจาก ผลการออกแบบในพื้นที่ต่าง ๆ ในบทที่ 4 จะมีดังนี้

- กรณีเขตพื้นที่ลาดกระบัง ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่โล่ง ดังจะเห็นได้จากข้อมูลความสูง ของพื้นดินและข้อมูลความสูงเฉลี่ยของสิ่งก่อสร้าง ดังในรูปที่ 4.21 ทำให้ค่าการลดทอนของ สัญญาณค่าการลดทอนของสัญญาณจะเกิดขึ้นในทิศทางต่าง ๆ รอบเซลล์มีค่าใกล้เคียงกัน จึงทำให้ ขอบเขตของเซลล์ที่ได้ในรูปที่ 4.22 มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับวงกลม และตรวจสอบค่าอินเตอร์เฟอ เรนซ์แล้วมีค่า C/I มากกว่า 18 dB จึงเห็นว่าสมควรที่จะติดตั้งเซลล์ได้

- กรณีในเขตพื้นที่พระโขนง ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่จะมีสิ่งก่อสร้างสูง ๆ อยู่มาก ดังแสดงในรูปที่ 4.24 ซึ่งจะทำให้การลดทอนของสัญญาณเพิ่มขึ้นสูง เนื่องจากสภาพแวดล้อมในทิศทางต่าง ๆ มี สภาพที่แตกต่างกัน จึงทำให้ขอบเขตของเซลล์มีลักษณะที่เว้า ๆ แหว่ง ๆ เกิดขึ้นมาก ดังจะเห็นได้จากใน รูปที่ 4.25 เนื่องจากค่าการลดทอนของสัญญาณในทิศทางต่าง ๆ เกิดขึ้นต่างกันมาก ซึ่งสาเหตุหลักที่

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเช่นนั้นก็เกิดจากค่าความสูงของสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ จะเห็นว่าในทิศตะวันตกของสถานีฐานเป็นถนนสุขุมวิท ที่เป็นเขตที่มีอาคารสูง ๆ อยู่มากจึงทำให้ขอบเขตของเซลล์มีระยะทางที่ใกล้กว่าบริเวณอื่น ๆ

- กรณีในเขต อ.บ้านฉาง จ.ชลบุรี จะเห็นว่าในทิศตะวันตกและทิศเหนือ จะมีเนินเขาสูงอยู่เป็นส่วนใหญ่ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.28 ส่วนความสูงของสิ่งก่อสร้างในเขตพื้นที่ที่มีความสูงไม่มากนัก(มีค่าไม่เกิน 15 เมตร) จึงทำให้ขอบเขตของเซลล์ในทิศทางดังกล่าวข้างต้นมีระยะทางที่ไม่มากนัก ดังจะเห็นได้จากในรูปที่ 4.30 จากในรูปจะเห็นว่าบริเวณหลังเนินเขาทางด้านทิศตะวันตกทำให้เกิดจุดบอดของสัญญาณหรือจุดโบลขึ้น ทำให้ในบริเวณพื้นที่นั้นมีระดับสัญญาณต่ำ ซึ่งอาจจะ เป็นสาเหตุให้การใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ขาดหายไป เมื่อผ่านเข้าไปในบริเวณดังกล่าว การแก้ไข การเกิดพื้นที่ดังกล่าวสามารถกระทำได้โดยการเพิ่มความสูงของสายอากาศที่สถานีฐาน แต่จะต้องพิจารณาค่าของการเกิดอินเตอร์เฟอเรนซ์กับเซลล์ข้างเคียงด้วย จึงต้องทำการบีมแพทเทิร์นของสายอากาศลง เพื่อไม่ให้สัญญาณแพร่กระจายไปยังเซลล์อื่นมากเกินไป

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการออกแบบ

ในการออกแบบเซลล์ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์นี้ สิ่งที่สำคัญในการออกแบบอย่างหนึ่งก็คือ ลักษณะของสภาพแวดล้อมของพื้นที่ ซึ่งจะถูกจัดให้อยู่ในรูปของข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการคำนวณหาขอบเขตของเซลล์ ข้อมูลของสภาพแวดล้อมของพื้นที่ก็คือข้อมูลความสูงของพื้นดิน และข้อมูลความสูงของสิ่งก่อสร้าง ดังนั้นการจัดเก็บข้อมูลจึงต้องพิจารณาจากสถานที่จริง ดังนั้นความละเอียดเที่ยงตรงของข้อมูลที่จะถูกนำมาใช้ จึงอาจจะมี ความผิดพลาดไปบ้าง เพื่อที่จะให้ได้ค่าที่เที่ยงตรงขึ้น จึงควรแบ่งพื้นที่ในการเก็บข้อมูลให้ละเอียดมากขึ้น อย่างเช่น ในวิทยานิพนธ์นี้ ใช้ค่าพื้นที่เป็น 500 เมตร x 500 เมตร ก็เปลี่ยนไปใช้ค่าข้อมูลที่ 100 เมตร x 100 เมตร เป็นต้น

5.3 สรุปและเสนอแนะ

จากสิ่งที่เกิดขึ้นในการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่บ่อย ๆ ก็คือ การรบกวนของสัญญาณอื่น ๆ สัญญาณขาดหายขณะสนทนา หรือไม่สามารถโทรออกได้ สาเหตุส่วนหนึ่งเกิดจากการออกแบบเซลล์ไม่เหมาะสมกับพื้นที่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน ทำให้พื้นที่บริการของแต่ละเซลล์เปลี่ยนไป จึงเป็นปัญหาทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์หรือล้ำ เข้าไปในเขตบริการอื่น หรือการออกแบบให้เซลล์มีขนาดใหญ่เกินไป จึงครอบคลุมผู้ใช้ได้จำนวนมาก ทำให้ผู้ใช้บางส่วนไม่สามารถใช้บริการได้ เนื่องจากช่องสัญญาณไม่เพียงพอ วิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอหลักการออกแบบและวิธีการเลือกตำแหน่งเซลล์ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ โดยการหาขนาดของเซลล์และขอบเขตการให้บริการเซลล์ที่คำนวณได้จากสภาพของทราฟฟิกและระดับสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่ตามสภาพแวดล้อมของพื้นที่ ซึ่งมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความสูงของสิ่งก่อสร้าง ความสูงของสายอากาศส่งหรือรับ เป็นต้น ทำให้ได้เซลล์ที่ใกล้เคียงการใช้งานจริงมาก และเมื่อนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการหาขอบเขตของเซลล์และพิมพ์ลงบนแผนที่ภูมิศาสตร์ จะทำให้สามารถพิจารณาเซลล์ต่าง ๆ และเลือกตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเซลล์ที่ดีที่สุดของแต่ละพื้นที่ได้ และสามารถแก้ไขเซลล์ ที่ออกแบบไว้ได้ง่ายเพื่อแก้ไขเซลล์ให้ดีขึ้น ก่อนที่จะมีการติดตั้งจริง

การออกแบบและเลือกตำแหน่งของเซลล์นี้ ยังสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบดิจิทัลได้เช่นเดียวกัน ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยได้เริ่มมีการใช้งานแล้วคือ ระบบ GSM(Global System for Mobile) ที่ใช้ความถี่ในย่าน 900 MHz และระบบ PCN(Personal Communication Network) ที่ใช้ความถี่ย่าน 1800 MHz ได้ เนื่องจากในการใช้สัญญาณยังคงอาศัยหลักการแพร่กระจายของคลื่นวิทยุอยู่เหมือนเดิม เพียงแต่ย่านความถี่เปลี่ยนแปลงไป จึงจะต้องเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการกระทบความถี่ที่ใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] W.C.Y. Lee , "Mobile communications Engineering", McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, 1989.
- [2] W.C.Y. Lee , "Mobile Communications Design Fundamentals", Haward W. Sams & Co., 1986.
- [3] Michel Daoud Yaconb, "Foundation of Mobile Radio Engineering", CRC Press Inc. , 1993.
- [4] J.D. Parsons, "The Mobile Propagation Channel ", John Willey & Sons, 1992.
- [5] A. Jagoda and M. de Villepin, "Mobile Communications", John Willey & Sons, 1993.
- [6] Neil J. Boucher, "The Cellular Radio Handbook", Quantum Publishing Inc, 1990.
- [7] Tokai University , "Mobile communication", 1990.
- [8] EIA/TIA standard , "Mobile Station-Land Station Compatibility Specification", September 1989.
- [9] Gilles Y. DELISLE , Jean-Paul LEFEVRE , Michel Lecours and Jean-Yves CHOUINARD, "Propagation Loss Prediction : A Comparative Study with Application to the Mobile Radio Channel ", IEEE Trans. on Vehicular Tech., Vol. VT-34, No.2, May 1985.
- [10] J. Durkin, "Computer Prediction of Service Areas for VHF and UHF Land Mobile Radio Services", IEEE Trans. on Vehicular Tech. , Vol. VT-26, No.4, November 1977.
- [11] Keith ALLSEBROOK and J.David PARSONS, "Mobile Radio Propagation in British Cities-at-Frequencies in the VHF and UHF Bands", IEEE Trans. on Vehicular Tech. , Vol. VT-26, No.4 , November 1977.
- [12] Masaharu HATA, " Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services", Trans. on Vehicular Tech., Vol. VT-29, August 1990.
- [13] Shigeru KOZONO and Akira TOGUCHI, "Mobile Propagation Loss and Delay Spread Characteristics with a Low Base Station Antenna on an Urban Road ", IEEE Trans. on Vehicular Tech., Vol. 42, No.1, February 1993.
- [14] W.C.Y. Lee , "Estimate of Local Average Power of a Mobile Radio Signal", IEEE Trans. on vehicular Tech., Vol. VT-34, No.1, February 1985.
- [15] Sahachai WILASUWAN, Ittichai ARUNGRISANGCHAI Manoon SUKKASEM and TAWIL PAUNGMA, " Cell site Designation for Digital Mobile Telephone

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ในการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

System”, ASPITT’ 93 (1993 Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies), 1993.

- [16] ถวิล พึ่งมา และ สหะไชย วิลลาสวรรณ, “ การออกแบบวิธีการเลือกเซลล์ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์”, การประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2535, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 26-29 พ.ย. 2535.
- [17] สหะไชย วิลลาสวรรณ, อธิธิชัย อรุณศรีแสงไชย และ ถวิล พึ่งมา, “ การออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14, 7-8 พ.ย. 2534.
- [18] สหะไชย วิลลาสวรรณ, สุพจน์ องค์กรณะคมกุล และ ถวิล พึ่งมา, “ การออกแบบเซลล์ไซท์เพื่อแก้ปัญหาคัดเลือกของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ในพื้นที่เป็นเนิน”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16, 25-26 พ.ย. 2536.





ภาคผนวกที่ 1

ตารางกราฟฟิการใช้งานโทรศัพท์
(Erlang)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N	A, Erlangs												
	1.00%	1.20%	1.50%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%
1	0.0101	0.121	0.0152	0.0204	0.0309	0.0526	0.0753	0.111	0.176	0.25	0.429	0.667	1
2	0.153	0.168	0.19	0.223	0.282	0.381	0.47	0.595	0.796	1	1.45	2	2.73
3	0.455	0.489	0.535	0.602	0.715	0.899	1.06	1.27	1.6	1.93	2.63	3.48	4.59
4	0.869	0.922	0.992	1.09	1.26	1.52	1.75	2.05	2.5	2.95	3.89	5.02	6.5
5	1.36	1.43	1.52	1.66	1.88	2.22	2.5	2.88	3.45	4.01	5.19	6.6	8.44
6	1.91	2	2.11	2.28	2.54	2.96	3.3	3.76	4.44	5.11	6.51	8.19	10.4
7	2.5	2.6	2.74	2.94	3.25	3.74	4.14	4.67	5.46	6.23	7.86	9.8	12.4
8	3.13	3.25	3.4	3.63	3.99	4.54	5	5.6	6.5	7.37	9.21	11.4	14.3
9	3.78	3.92	4.09	4.34	4.75	5.37	5.88	6.55	7.55	8.52	10.6	13	16.3
10	4.46	4.61	4.81	5.08	5.53	6.22	6.78	7.51	8.62	9.68	12	14.7	18.3
11	5.16	5.32	5.54	5.84	6.33	7.08	7.69	8.49	9.69	10.9	13.3	16.3	20.3
12	5.88	6.05	6.29	6.61	7.14	7.95	8.61	9.47	10.8	12	14.7	18	22.2
13	6.61	6.8	7.05	7.4	7.97	8.83	9.54	10.5	11.9	13.2	16.1	19.6	24.2
14	7.35	7.56	7.82	8.2	8.8	9.73	10.5	11.5	13	14.4	17.5	21.2	26.2
15	8.11	8.33	8.62	9.01	9.65	10.6	11.4	12.5	14.1	15.6	18.9	22.9	28.2
16	8.88	9.11	9.41	9.83	10.5	11.5	12.4	13.5	15.2	16.8	20.3	24.5	30.2
17	9.65	9.89	10.2	10.7	11.4	12.5	13.4	14.5	16.3	18	21.7	26.2	32.2
18	10.4	10.7	11	11.5	12.2	13.4	14.3	15.5	17.4	19.2	23.1	27.8	34.2
19	11.2	11.5	11.8	12.3	13.1	14.3	15.3	16.6	18.5	20.4	24.5	29.5	36.2
20	12	12.3	12.7	13.2	14	15.2	16.3	17.6	19.6	21.6	25.9	31.2	38.2
21	12.8	13.1	13.5	14	14.9	16.2	17.3	18.7	20.8	22.8	27.3	32.8	40.2
22	13.7	14	14.3	14.9	15.8	17.1	18.2	19.7	21.9	24.1	28.7	34.5	42.1
23	14.5	14.8	15.2	15.8	16.7	18.1	19.2	20.7	23	25.3	30.1	36.1	44.1
24	15.3	15.6	16	16.6	17.6	19	20.2	21.8	24.2	26.5	31.6	37.8	46.1
25	16.1	16.5	16.9	17.5	18.5	20	21.2	22.8	25.3	27.7	33	39.4	48.1

N	A, Erlangs												
	B (Blocking rate)												
	1.00%	1.20%	1.50%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%
26	17	17.3	17.8	18.4	19.4	20.9	22.2	23.9	26.4	28.9	34.4	41.1	50.1
27	17.8	18.2	18.6	19.3	20.3	21.9	23.2	24.9	27.6	30.2	35.8	42.8	52.1
28	18.6	19	19.5	20.2	21.2	22.9	24.2	26	28.7	31.4	37.2	44.4	54.1
29	19.5	19.9	20.4	21	22.1	23.8	25.2	27.1	29.9	32.6	38.6	46.1	56.1
30	20.3	20.7	21.2	21.9	23.1	24.8	26.2	28.1	31	33.8	40	47.7	58.1
31	21.2	21.6	22.1	22.8	24	25.8	27.2	29.2	32.1	35.1	41.5	49.4	60.1
32	22	22.5	23	23.7	24.9	26.7	28.2	30.2	33.3	36.3	42.9	51.1	62.1
33	22.9	23.3	23.9	24.6	25.8	27.7	29.3	31.3	34.4	37.5	44.3	52.7	64.1
34	23.8	24.2	24.8	25.5	26.8	28.7	30.3	32.4	35.6	38.8	45.7	54.4	66.1
35	24.6	25.1	25.6	26.4	27.7	29.7	31.3	33.4	36.7	40	47.1	56	68.1
36	25.5	26	26.5	27.3	28.6	30.7	32.3	34.5	37.9	41.2	48.6	57.7	70.1
37	26.4	26.8	27.4	28.3	29.6	31.6	33.3	35.6	39	42.4	50	59.4	72.1
38	27.3	27.7	28.3	29.2	30.5	32.6	34.4	36.6	40.2	43.7	51.4	61	74.1
39	28.1	28.6	29.2	30.1	31.5	33.6	35.4	37.7	41.3	44.9	52.8	62.7	76.1
40	29	29.5	30.1	31	32.4	34.6	36.4	38.8	42.5	46.1	54.2	64.4	78.1
41	29.9	30.4	31	31.9	33.4	35.6	37.4	39.9	43.6	47.4	55.7	66	80.1
42	30.8	31.1	31.9	32.8	34.3	36.6	38.4	40.9	44.8	48.6	57.1	67.7	82.1
43	31.7	32.2	32.8	33.8	35.3	37.6	39.5	42	45.9	49.9	58.5	69.3	84.1
44	32.5	33.1	33.7	34.7	36.2	38.6	40.5	43.1	47.1	51.1	59.9	71	86.1
45	33.4	34	34.6	35.6	37.2	39.6	41.5	44.2	48.2	52.3	61.3	72.7	88.1
46	34.3	34.9	35.6	36.5	38.1	40.5	42.6	45.2	49.4	53.6	62.8	74.3	90.1
47	35.2	35.8	36.5	37.5	39.1	41.5	43.6	46.3	50.6	54.8	64.2	76	92.1
48	36.1	36.7	37.4	38.4	40	42.5	44.6	47.3	51.7	56	65.6	77.7	94.1
49	37	37.6	38.3	39.3	41	43.5	45.7	48.5	52.9	57.3	67	78.3	96.1
50	37.9	38.5	39.2	40.3	41.9	44.5	46.7	49.6	54	58.5	68.5	81	98.1

N	A, Erlangs														
	B (Blocking rate)														
	1.00%	1.20%	1.50%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%		
51	38.8	39.4	40.1	41.2	42.9	45.5	47.7	50.6	55.2	59.7	69.9	82.7	100.1		
52	39.7	40.3	41	42.1	43.9	46.5	48.8	51.7	56.3	61	71.3	84.3	102.1		
53	40.6	41.2	42	43.1	44.8	47.5	49.8	52.8	57.5	62.2	72.7	86	104.1		
54	41.5	42.1	42.9	44	45.8	48.5	50.8	53.9	58.7	63.5	74.2	87.6	106.1		
55	42.4	43	43.8	44.9	46.7	49.5	51.9	55	59.8	64.7	75.6	89.3	108.1		
56	43.3	43.9	44.7	45.9	47.7	50.5	52.9	56.1	61	65.9	77	91	110.1		
57	44.2	44.8	45.7	46.8	48.7	51.5	53.9	57.1	62.1	67.2	78.4	92.6	112.1		
58	45.1	45.8	46.8	47.8	49.6	52.6	55	58.2	63.3	68.4	79.8	94.3	114.1		
59	46	46.7	47.5	48.7	50.6	53.6	56	59.3	64.5	69.7	81.3	96	116.1		
60	46.9	47.6	48.4	49.6	51.6	54.6	57.1	60.4	65.6	70.9	82.7	97.6	118.1		
61	47.9	48.5	49.4	50.6	52.5	55.6	58.1	61.5	66.8	72.1	84.1	99.3	120.1		
62	48.8	49.4	50.3	51.5	53.5	56.6	59.1	62.6	68	73.4	85.1	101	122.1		
63	49.7	50.4	51.2	52.5	54.5	57.6	60.2	63.7	69.1	74.6	87	102.6	124.1		
64	50.6	51.3	52.2	53.4	55.4	58.6	61.2	64.8	70.3	75.9	88.4	104.3	126.1		
65	51.5	52.2	53.1	54.4	56.4	59.6	62.3	65.8	71.4	77.1	89.8	106	128.1		
66	52.4	53.1	54	55.3	57.4	60.6	63.3	66.9	72.6	78.3	91.2	107.6	130.1		
67	53.4	54.1	55	56.3	58.1	61.6	64.4	68	73.8	79.6	92.7	109.3	132.1		
68	54.3	55	55.9	57.2	59.3	62.6	65.4	69.1	74.9	80.8	94.1	111	134.1		
69	55.2	55.9	56.9	58.2	60.3	63.7	66.4	70.2	76.1	82.1	95.5	112.6	136.1		
70	56.1	56.8	57.8	59.1	61.3	64.7	67.5	71.3	77.3	83.3	96.9	114.3	138.1		
71	57	57.8	58.7	60.1	62.3	65.7	68.5	72.4	78.4	84.6	98.4	115.9	140.1		
72	58	58.7	59.7	61	63.2	66.7	69.6	73.5	79.6	85.8	99.8	117.6	142.1		
73	58.9	59.6	60.6	62	64.2	67.7	70.6	74.6	80.8	87	101.2	119.3	144.1		
74	59.8	60.6	61.6	62.9	65.2	68.7	71.7	75.6	81.9	88.3	102.7	120.9	146.1		
75	60.7	61.5	62.5	63.9	66.2	69.7	72.7	76.7	83.1	89.5	104.1	122.6	148		

N	A, Erlangs														
	B (Blocking rate)														
	1.00%	1.20%	1.50%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%		
76	61.7	62.4	63.4	64.9	67.2	70.8	73.8	77.8	84.2	90.8	105.5	124.3	150		
77	62.6	63.4	64.4	65.8	68.1	71.8	74.8	78.9	85.4	92	106.9	125.9	152		
78	63.5	64.3	65.3	66.8	69.1	72.8	75.9	80	86.6	93.3	108.4	127.6	154		
79	64.4	65.2	66.3	67.7	70.1	73.8	76.9	81.1	87.7	94.5	109.8	129.3	156		
80	65.4	66.2	67.2	68.7	71.1	74.8	78	82.2	88.9	95.7	111.2	130.9	158		
81	66.3	67.1	68.2	69.6	72.1	75.8	79	83.3	90.1	97	112.6	132.6	160		
82	67.2	68	69.1	70.6	73	76.9	80.1	84.4	91.2	98.2	114.1	134.3	162		
83	68.2	69	70.1	71.6	74	77.9	81.1	85.5	92.4	99.5	115.5	135.9	164		
84	69.1	69.9	71	72.5	75	78.9	82.2	86.6	93.6	100.7	116.9	137.6	166		
85	70.9	70.9	71.9	73.5	76	79.9	83.2	87.7	94.7	102	118.3	139.3	168		
86	71.9	71.8	72.9	74.5	77	80.9	84.3	88.8	95.9	103.2	119.8	140.9	170		
87	72.8	72.7	73.8	75.4	78	82	85.3	89.9	97.1	104.5	121.2	142.6	172		
88	73.7	73.7	74.8	76.4	78.9	83	86.4	91	98.2	105.7	122.6	144.3	174		
89	74.6	74.6	75.7	77.3	79.9	84	87.4	92.1	99.4	106.9	124	145.9	176		
90	75.6	75.6	76.7	78.3	80.9	85	88.5	93.1	100.6	108.2	125.5	147.6	178		
91	75.6	76.5	77.6	79.3	81.9	86	89.5	94.2	101.7	109.4	126.9	149.3	180		
92	76.6	77.4	78.6	80.2	82.9	87.1	90.6	95.3	102.9	110.7	128.3	150.6	182		
93	77.5	78.4	79.6	81.2	83.9	88.1	91.6	96.4	104.1	111.9	129.7	152.6	184		
94	78.4	79.3	80.5	82.2	84.9	89.1	92.7	97.5	105.3	113.2	131.2	154.3	186		
95	79.4	80.3	81.5	83.1	85.8	90.1	93.7	98.6	106.4	114.4	132.6	155.9	188		
96	80.3	81.2	82.4	84.1	86.8	91.1	94.8	99.7	107.6	115.7	134	157.6	190		
97	81.2	82.2	83.4	85.1	87.8	92.2	95.8	100.8	108.8	116.9	135.5	159.3	192		
98	82.2	83.1	84.3	86	88.8	93.2	96.9	101.9	109.9	118.2	136.9	160.9	194		
99	83.1	84.1	85.3	87	89.8	94.2	97.9	103	111.1	119.4	138.3	162.6	196		
100	84.1	85	86.3	88	90.8	95.2	99	104.1	112.3	120.6	139.7	164.3	198		

N	A, Erlangs														
	B (Blocking rate)														
	1.00%	1.20%	1.50%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%		
102	85.9	89.6	88.1	89.9	92.8	97.3	101.1	106.3	114.6	123.1	142.6	167.6	202		
104	87.8	88.8	90.1	91.9	94.8	99.3	103.2	108.5	116.9	125.6	145.4	170.9	206		
106	89.7	90.7	92	93.8	96.7	101.4	105.3	110.7	119.3	128.1	148.3	174.3	210		
108	91.6	92.6	93.9	95.7	98.7	103.4	107.4	112.9	121.6	130.6	151.1	177.6	214		
110	93.5	94.5	95.8	97.7	100.7	105.5	109.5	115.1	124	133.1	154	180.9	218		
112	95.4	96.4	97.7	99.6	102.7	107.5	111.7	117.3	126.3	135.6	156.8	184.2	222		
114	97.3	98.3	99.7	101.6	104.7	109.6	113.8	119.5	128.6	138.1	159.7	187.6	226		
116	99.2	100.2	101.6	103.5	106.7	111.7	115.9	121.7	131	140.6	162.6	190.9	230		
118	101.1	102.1	103.5	105.5	108.7	113.7	118	123.9	133.3	143.1	165.4	194.2	234		
120	103	104	105.4	107.4	110.7	115.8	120.1	126.1	135.7	145.6	168.3	197.6	238		
122	104.9	105.9	107.4	109.4	112.6	117.8	122.2	128.3	138	148.1	171.1	200.9	242		
124	106.8	107.9	109.3	111.3	114.6	119.9	124.4	130.5	140.3	150.6	174	204.2	246		
126	108.7	109.8	111.2	113.3	116.6	121.9	126.5	132.7	142.7	153	176.8	207.6	250		
128	110.6	111.7	113.2	115.2	118.6	124	128.6	134.9	145	155.5	179.7	210.9	254		
130	112.5	113.6	115.1	117.2	120.6	126.1	130.7	137.1	147.4	158	182.5	214.3	258		
132	114.4	115.5	117	119.1	122.6	128.1	132.8	139.3	149.7	160.5	185.4	217.6	262		
134	116.3	117.4	119	121.1	124.6	130.3	134.9	141.5	152	163	188.3	220.9	266		
136	118.2	119.4	120.9	123.1	126.6	132.3	137.1	143.7	154.4	165.5	191.1	224.2	270		
138	120.1	121.3	122.8	125	128.6	134.3	139.2	145.9	156.7	168	194	227.6	274		
140	122	123.2	124.8	127	130.6	136.4	141.3	148.1	159.1	170.5	196.8	230.9	278		
142	123.9	125.1	126.7	128.9	132.6	138.4	143.4	150.3	161.4	173	199.7	234.2	282		
144	125.8	127	128.6	130.8	134.6	140.5	145.6	152.5	163.8	175.5	202.5	237.6	286		
146	127.7	129	130.6	132.9	136.6	142.6	147.7	154.7	166.1	178	205.4	240.9	290		
148	129.7	130.9	132.5	134.8	138.6	144.6	149.8	156.9	168.5	180.5	208.2	244.2	294		
150	131.6	132.8	134.5	136.8	140.6	146.7	151.9	159.1	170.8	183	211.1	247.6	298		

N	A, Erlangs														
	B (Blocking rate)														
	1.00%	1.20%	1.50%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%		
152	133.5	134.8	136.4	138.8	142.6	148.8	154	161.3	173.1	185.5	214	250.9	302		
154	135.4	136.7	138.4	140.7	144.6	150.8	156.2	163.5	175.5	188	216.8	254.9	306		
156	137.3	138.6	140.3	142.7	146.6	152.9	158.3	165.7	177.8	190.5	219.7	257.6	310		
158	139.2	140.5	143.3	144.7	148.6	155	160.4	167.9	180.2	193	222.5	260.9	314		
160	141.2	142.5	144.2	146.6	150.6	157	162.5	170.2	182.5	195.5	225.4	264.2	318		
162	143.1	144.4	146.1	148.6	152.7	159.1	164.7	172.4	184.9	198	228.2	267.6	322		
164	145	146.3	148.1	150.6	154.7	161.2	166.8	174.6	187.2	200.4	231.1	270.9	326		
166	146.9	148.3	150	152.8	156.7	163.3	168.9	176.8	189.6	202.9	233.9	274.2	330		
168	148.9	150.2	152	154.5	158.7	165.3	171	179	191.9	205.4	236.8	277.6	334		
170	150.8	152.1	153.9	156.5	160.7	167.4	173.2	181.2	194.2	207.9	239.7	280.9	338		
172	152.7	154.1	155.9	158.5	162.7	169.5	175.3	183.4	196.6	210.4	242.5	284.2	342		
174	154.6	156	157.8	160.4	164.7	171.5	177.4	185.6	198.9	212.9	245.4	287.6	346		
176	156.6	158	159.8	162.4	166.7	173.6	179.6	187.8	201.3	215.4	248.2	290.9	350		
178	158.58	15909	161.8	164.4	168.7	175.7	181.7	190	203.6	217.9	251.1	294.2	354		
180	160.4	161.8	162.7	166.4	170.7	177.8	183.8	192.2	206	220.4	253.9	297.5	358		
182	162.3	163.8	165.7	168.3	172.8	179.8	185.9	194.4	208.3	222.9	256.8	300.9	362		
184	164.3	165.7	167.6	170.3	174.8	181.9	188.1	196.6	210.7	225.4	259.6	304.2	366		
186	166.2	167.7	169.6	172.3	176.8	184	190.2	198.9	213	227.9	262.5	307.5	370		
188	168.1	169.6	171.5	174.3	178.8	186.1	192.3	201.1	215.4	230.4	265.4	310.9	374		
190	170.1	171.5	173.5	176.3	180.8	188.1	194.5	203.3	217.7	232.9	268.2	314.2	378		
192	172	173.5	175.4	178.2	182.8	190.2	196.6	205.5	220.1	235.4	271.1	317.5	382		
194	173.9	175.4	177.4	180.2	184.8	192.3	198.7	207.7	222.4	237.9	273.9	320.9	386		
196	175.9	177.4	179.4	182.3	186.9	194.4	200.8	209.9	224.8	240.4	276.8	324.2	390		
198	177.8	179.3	181.3	184.2	188.9	196.4	203	212.1	227.1	242.9	279.6	327.5	394		
200	179.7	181.3	183.3	186.2	190.9	198.5	205.1	214.3	229.4	245.4	282.5	330.9	398		

N	A, Erlangs														
	B (Blocking rate)														
	1.00%	1.20%	1.50%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%		
202	181.7	183.2	185.2	188.1	192.9	200.6	207.2	216.5	231.8	247.9	285.4	334.2	402		
204	183.6	185.2	187.2	190.1	194.9	202.7	209.4	218.7	234.1	250.4	288.2	337.5	406		
206	185.5	187.1	189.2	192.1	196.9	204.7	211.5	221	236.5	252.9	291.1	340.9	410		
208	187.5	189.1	191.1	194.1	199	206.8	213.6	223.2	238.8	255.4	293.9	344.2	414		
210	189.4	191	193.1	196.1	201	208.9	215.8	225.4	241.2	257.9	296.8	347.5	418		
212	191.4	193	195.1	198.1	203	211	217.9	227.6	243.5	260.4	299.6	350.9	422		
214	193.3	194.9	197	200	205	213	220	229.8	245.9	262.9	302.5	354.2	426		
216	195.2	196.9	199	202	207	215.1	222.2	232	248.2	265.4	305.3	357.5	430		
218	197.2	198.8	201	204	209.1	217.2	224.3	234.2	250.6	267.9	308.2	360.9	434		
220	199.1	200.8	202.9	206	211.1	219.3	226.4	236.4	252.9	270.4	311.1	364.2	438		
222	201.1	202.7	204.9	208	213.1	221.4	228.6	238.6	255.3	272.9	313.9	367.5	442		
224	203	204.7	206.8	210	215.1	223.4	230.7	240.9	257.6	275.4	316.8	370.9	446		
226	204.9	206.6	208.8	212	217.1	225.5	232.8	243.1	260	277.8	319.6	374.2	450		
228	206.9	208.6	210.8	213.9	219.2	227.6	235	245.3	262.3	280.3	322.5	377.5	454		
230	208.8	210.5	212.8	215.9	221.2	229.7	237.1	247.5	264.7	282.8	325.3	380.9	458		
232	210.8	212.5	214.7	217.9	223	231.8	239.2	249.7	267	285.3	328.2	384.2	462		
234	212.7	214.4	216.7	219.9	225.2	233.8	241.4	251.9	269.4	287.8	331.1	387.5	466		
236	214.7	216.4	218.7	221.9	227.2	235.9	243.5	254.1	271.7	290.3	333.9	390.9	470		
238	216.6	218.3	220.6	223.9	229.2	238	245.6	256.3	274.1	292.85	336.8	394.2	474		
240	218.6	220.3	222.6	225.9	231.3	240.1	247.8	258.6	276.4	295.3	339.6	397.5	478		
242	220.5	222.3	224.6	227.9	233.3	242.2	249.9	260.8	278.8	297.8	342.5	400.9	482		
244	222.5	224.2	226.5	229.9	235.3	244.3	252	263	281.1	300.3	345.3	404.2	486		
246	224.4	226.2	228.5	231.8	237.4	246.3	254.2	265.2	283.4	302.8	348.2	407.5	490		
248	226.3	228.1	230.5	233.8	239.4	248.4	256.3	267.4	285.8	305.3	351	410.9	494		
250	228.3	230.1	232.5	235.8	241.4	250.53	258.4	269.6	288.1	307.8	353.9	414.2	498		
	0.976	0.982	0.988	0.998	1.014	1.042	1.07	1.108	1.176	1.25	1.428	1.666	2		

N	A, Erlangs														
	B (Blocking rate)														
	1.00%	1.20%	1.50%	2%	3%	5%	7%	10%	15%	20%	30%	40%	50%		
300	277.1	279.2	281.9	285.7	292.1	302.6	311.9	325	346.9	370.3	425.3	497.5	598		
	0.982	0.984	0.99	1	1.016	1.044	1.07	1.108	1.174	1.248	1.428	1.668	2		
350	326.2	328.4	331.4	335.7	342.9	354.8	365.4	380.4	405.6	432.7	496.7	580.9	698		
	0.982	0.988	0.994	1.004	1.02	1.046	1.07	1.108	1.176	1.25	1.43	1.666	2		
400	375.3	377.8	381.1	385.9	393.9	407.1	418.9	435.8	464.4	495.2	568.2	664.2	798		
	0.986	0.99	0.996	1.004	1.018	1.046	1.072	1.11	1.176	1.25	1.428	1.666	2		
450	424.6	427.3	430.9	436.1	444.8	459.4	472.5	491.3	523.2	557.7	639.6	747.5	898		
	0.988	0.994	0.998	1.006	1.022	1.048	1.07	1.108	1.176	1.25	1.428	1.668	2		
500	474	477	480.8	486.4	495.9	511.8	526	546.7	582	620.2	711	830.9	998		
	0.991	0.994	1	1.008	1.022	1.047	1.073	1.11	1.176	1.049	1.429	1.666	2		
600	573.1	576.4	580.8	587.2	598.1	616.5	633.3	657.7	699.6	745.1	853.9	997.5	1198		
	0.993	0.997	1.002	1.01	1.024	1.049	1.073	1.11	1.176	1.25	1.428	1.665	2		
700	672.4	676.1	681	688.2	700.5	721.4	740.6	768.7	817.2	870.1	996.7	1164	1398		
	0.994	0.998	1	1.01	1.025	1.05	1.073	1.11	1.176	1.25	1.433	1.67	2		
800	771.8	775.9	781.4	789.3	803	826.4	847.9	879.7	934.8	995.1	1140	1331	1598		
	0.997	1	1	1.013	1.025	1.05	1.074	1.111	1.172	1.249	1.42	1.67	2		
900	871.5	875.9	881.8	890.6	905.5	931.4	955.3	990.8	1052	1120	1282	1498	1798		
	0.997	1.001	1.006	1.013	1.025	1.046	1.077	1.112	1.18	1.25	1.43	1.66	2		
1000	971.2	976	982.4	991.9	1008	1036	1063	1102	1170	1245	1425	1664	1998		
	0.998	1	1.006	1.011	1.03	1.05	1.07	1.11	1.18	1.25	1.43	1.67	2		
1100	1071	1076	1083	1093	1111	1141	1170	1213	1288	1370	1568	1831	2198		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1 DIM RA(360)
2 DIM Y(360)
3 DIM x(360)
4 ang = 5

```

```
10 CLS
```

```
20 GOSUB 8000
```

```
25 GOSUB 8060
```

```
30 LOCATE 9, 43: PRINT "=PLOT PROGRAM="
```

```
40 LOCATE 11, 28: PRINT "KING'S MONGKUT INSTITUTE TECHNOLOGY
LADKRABANG"
```

```
50 LOCATE 13, 37: PRINT "TELECOMMUNICATION DEPARTMENT"
```

```
60 A$ = INPUT$(1)
```

```
70 IF A$ = "1" THEN 1000
```

```
80 IF A$ = "2" THEN 2000
```

```
90 IF A$ = "3" THEN 3000
```

```
100 IF A$ = "4" THEN 4000
```

```
110 IF A$ = "5" THEN 5000
```

```
115 IF A$ = "6" THEN 6000
```

```
116 IF A$ = "7" THEN 7000
```

```
120 GOTO 60
```

```
140 END
```

```
1000 CLS
```

```
1010 GOSUB 8000
```

```
1020 LOCATE 2, 5: PRINT "SOLVE PROBLEM"
```

```
1030 LOCATE 9, 35: PRINT "THE RANGE [1-20KM]"
```

```
1040 LOCATE 11, 35: PRINT "THE BASE HIGHT [30-200M]"
```

```
1050 LOCATE 13, 35: PRINT "THE VEHICLE HIGHT [1-10M]"
```

```
1060 LOCATE 15, 35: PRINT "THE FREQUENCY [450-1000MHz]"
```

```
1070 LOCATE 17, 35: PRINT "AVERAGE HIGHT OF BUILDING [5-100]"
```

```
1072 LOCATE 22, 35: PRINT "ANGLE/SECTOR [DEEGRE]"; ang
```

```
1075 LOCATE 15, 5: PRINT "SETUP [S]"
```

```
1090 LOCATE 17, 5: PRINT "RANGE [R]"
```

```
1110 LOCATE 23, 5: PRINT "SELECT"เพื่อการศึกษานั่น ไม่นุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
```

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1120 T$ = INPUT$(1)
1121 IF T$ = 'R' THEN 1130
1122 IF T$ = 'r' THEN 1130
1123 IF T$ = 'S' THEN 1127
1124 IF T$ = 's' THEN 1127
1125 GOTO 1120
1127 GOSUB 10000
1128 LOCATE 23, 5: INPUT 'ANGLE'; ang
1129 GOTO 1000
1130 AG = 360 / ang
1135 F = 850
1140 H = 30
1150 HB = 15
1160 V = 1.5
1170 L = 148: D = 148
1180 DEF FNBLG (D) = LOG(D) / LOG(10)

REM          SETUP PROGRAM
1190 CLS
1195 FOR LP = 1 TO AG
1196 CLS
1200 GOSUB 8000
1210 LOCATE 9, 40: PRINT 'FREQUENCY IN MHz '; F
1220 LOCATE 11, 40: PRINT 'BASE STN HEIGHT '; H
1230 LOCATE 13, 40: PRINT 'HIEGHT BUILDING '; HB
1240 LOCATE 15, 40: PRINT 'VEHICLE HEIGHT '; V
1250 LOCATE 17, 40: PRINT 'TERIAN FACTOR'; T
1260 LOCATE 7, 4: PRINT 'CHANGE FRQ [1]'
1270 LOCATE 9, 4: PRINT 'CHANGE BSH [2]'
1280 LOCATE 11, 4: PRINT 'CHANGE HB [3]'
1290 LOCATE 13, 4: PRINT 'CHANGE VCH [4]'
1300 LOCATE 15, 4: PRINT 'CHANGE TRF [5]'
1310 LOCATE 17, 4: PRINT 'CHANGE ALL [6]'
1320 LOCATE 19, 4: PRINT 'NOT CHANGE [7]'

```

1360 LOCATE 23, 4: PRINT 'SELECT' เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1370 LOCATE 23, 10: c$ = INPUT$(1)
1380 IF c$ = '1' THEN 1500
1390 IF c$ = '2' THEN 1550
1400 IF c$ = '3' THEN 1600
1410 IF c$ = '4' THEN 1650
1420 IF c$ = '5' THEN 1700
1430 IF c$ = '6' THEN 1500
1440 IF c$ = '7' THEN 1800
1450 GOTO 1370

1500 GOSUB 10000
1510 LOCATE 23, 4: INPUT 'FREQ [MHz]'; F
1520 IF c$ = '1' THEN 1196

1550 GOSUB 10000
1560 LOCATE 23, 4: INPUT 'HIGHT [M]'; H
1570 IF c$ = '2' THEN 1196

1600 GOSUB 10000
1610 LOCATE 23, 4: INPUT 'BUILDING[M]'; HB
1620 IF c$ = '3' THEN 1196

1650 GOSUB 10000
1660 LOCATE 23, 4: INPUT 'HIGHT [M]'; V
1670 IF c$ = '4' THEN 1196

1700 GOSUB 10000
1710 LOCATE 23, 4: INPUT 'FACTOR'; T
1720 IF c$ = '5' THEN 1196
1750 GOTO 1190

```

```

REM SOLVE PROGRAM

```

```

1800 S = 20 * (FNBLOG(HB - V)) - 20 * FNBLOG(548 * SQR(.08 * F)) + 16

```

```

1810 A = (1.1 * (FNBLOG(F)) - .7) * V - 1.56 * (FNBLOG(F)) + .8

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1820 RA(LP) = 10 ^ ((L - S - T - 69.55 - 26.16 * (FNBLOG(F)) + 13.82 *
(FNBLOG(H)) + A) / (44.9 - 6.55 * (FNBLOG(H))))
1825 LOCATE 22, 26: PRINT 'ANGLE [DEEGRE] '; AGL
1830 LOCATE 22, 46: PRINT 'RANGE ='; RA(LP)
1835 S$ = INPUT$(1)
1836 AGL = ang * LP
1837 NEXT LP
1838 W$ = INPUT$(1)
1839 GOTO 10
1840 END

```

```

REM                PLOT PROGRAM
2000 CLS
2010 GOSUB 8000
2020 LINE (387, 10)-(387, 190)
2030 LINE (160, 98)-(615, 98)
2040 GOSUB 2071
2045 GOSUB 2135
2050 GOTO 2142

2071 age = 0
2072 se = 0
2075 FOR lo = 1 TO AG
2076 se = lo * ang
2077 age = (ang * lo) * .0174532
2110 Y(lo) = (RA(lo) * (SIN(age)) * .72) + 98
2120 x(lo) = (RA(lo) * (COS(age)) * 1.6) + 387
2121 NEXT lo
2022 RETURN

```

```
2135 GA = AG - 1
```

```
2136 FOR P = 1 TO GA
```

2137 li = P + 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2138 LINE (x(P), Y(P))-(x(li), Y(li))
2139 NEXT P
2140 LINE (x(AG), Y(AG))-(x(1), Y(1))
2141 RETURN

```

```

2142 LOCATE 3, 6: PRINT "TEST PLOT"
2145 LOCATE 6, 6: PRINT "ANGLE D/S"
2146 LOCATE 7, 9: PRINT P
2147 LOCATE 9, 5: PRINT "FULL SCALE"
2148 LOCATE 10, 9: PRINT "100"
2149 LOCATE 12, 6: PRINT "MAX POINT"
2150 LOCATE 13, 8: PRINT MAG
2170 LOCATE 19, 6: PRINT "MENU [M]"
2175 LOCATE 23, 6: PRINT "SELECT"
2180 P$ = INPUT$(1)
2190 IF P$ = "M" THEN 10
2195 IF P$ = "m" THEN 10
2220 GOTO 2180
2999 END

```

```

3000 CLS
3002 GOSUB 2071
3004 LINE (313, 2)-(313, 190)
3005 LINE (2, 98)-(625, 98)
3010 FOR HS = 1 TO AG
3020 x(HS) = x(HS) - 74
3030 NEXT HS
3040 GOSUB 2135
3050 FOR TU = 1 TO AG
3060 x(TU) = x(TU) + 74
3070 NEXT TU
3080 UT$ = INPUT$(1)
3990 GOTO 10

```

3999 END

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

REM                PRINT PROGRAM
4000 CLS
4010 SCREEN 0, 0, 0
4020 LOCATE 10, 15: PRINT 'PRINT PROGRAM IS PRINT ANGLE AND
MAGNEETUDE DATA'
4025 LOCATE 12, 16: PRINT 'IF YOU WANT PRINT DATA THEN PRESS [Sft
Prtsc]'
4030 LOCATE 14, 25: PRINT 'WHEN YOU READY PRESS [ENTER]'
4031 PR$ = INPUT$(1)
4032 BA = 0
4033 SC = 1
4040 CLS
4050 FOR L = 1 TO 4
4060 FOR U = 4 TO 22
4065 BA = BA + 1
4070 LOCATE U, SC: PRINT 'ANG'; BA; ' '; RA(BA)
4080 NEXT U
4085 SC = L * 21
4090 NEXT L
4100 IU$ = INPUT$(1)
4990 GOTO 10
4999 END

```

```

REM                END PROGRAM
5000 CLS
5010 LOCATE 23, 23: INPUT 'ENTER FILE NAME'; NA$
5015 GOSUB 9000
5020 OPEN H$ FOR OUTPUT AS #1
5022 PRINT #1, AG
5023 PRINT #1, ang

5025 CLOSE

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5027 OPEN NA\$ FOR OUTPUT AS #1

5030 FOR SA = 1 TO AG

5040 PRINT #1, RA(SA)

5050 NEXT SA

5090 CLOSE

5999 GOTO 10

6000 CLS

6010 LOCATE 23, 23: INPUT 'ENTER FILE NAME'; NA\$

6015 GOSUB 9000

6020 OPEN H\$ FOR INPUT AS #1

6030 INPUT #1, AG

6035 INPUT #1, ang

6040 CLOSE

6050 OPEN NA\$ FOR INPUT AS #1

6060 FOR LD = 1 TO AG

6070 INPUT #1, RA(LD)

6080 NEXT LD

6090 CLOSE

6999 GOTO 10

7000 CLS

7999 END

REM GRAPHIC SCREEN PROGRAM

8000 SCREEN 2

8005 LINE (2, 2)-(2, 195)

8010 LINE (2, 195)-(625, 195)

8020 LINE (625, 195)-(625, 2)

8030 LINE (625, 2)-(2, 2)

8040 LINE (150, 2)-(150, 195)

8045 RETURN

8060 LOCATE 9, 3: PRINT ' SOLV [1]'

8070 LOCATE 11, 3: PRINT ' TEST [2]'

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8075 LOCATE 13, 3: PRINT ' PLOT [3]'
 8080 LOCATE 15, 3: PRINT ' PRINT [4]'
 8085 LOCATE 17, 3: PRINT ' SAVE [5]'
 8086 LOCATE 19, 3: PRINT ' LOAD [6]'
 8090 LOCATE 21, 3: PRINT ' QUIT [7]'
 8100 LOCATE 23, 3: PRINT ' SELECT'
 8540 RETURN

9000 HA\$ = 'H'
 9020 H\$ = NA\$ + HA\$
 9030 RETURN

10000 LOCATE 23, 4: PRINT '
 10010 RETURN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้